

Radiový
KONSTRUKTÉR
SVAZARMU

Plánky a návody Amaterského radia



ROČNÍK III. • 1957. ČÍSLO 10

NA KONEC ROKU VYGRUNTOVAT!

Rovnal jsem Konstruktéry do vazby, od prvního čísla v roce 1955. O čem všem se v něm nepsalo: o bateriových přijimačích v době, kdy ještě o Minoru nebylo ani slechu, o zesilovačích s tónovým korektem, protože hotový nemohl zájemce nikde sehnat, o páskových nahrávačích, dokud se ještě žádné nevyroběly, o elektronickém blesku, který se dá postavit mnohem lehčí a levnější než ten, který byl dosud na trhu, o televizoru dokonalejším než 4001, o autopřijimači nejen se středovlnným, ale i s krátkovlnným rozsahem, o dálkovém řízení modelů, kdy se u nás tento obor teprve začal rodit, o stavbě přijimačů pro příjem kmitočtové modulace, kdy ještě nebylo pomyslení na stavbu FM vysilačů, o elektrických hudebních nástrojích, které přicházejí do velké obliby, o transistorech, použití miniaturních součástí a nyní, v posledním sešité tohoto roku, o aparatuře pro věrný přednes. A tak jsem si vzpomněl, jak jsme o zařízených Hi-Fi hovořili a uvažovali již před třemi roky. Tenkrát byl tento námět zavržen pro nedostatek vhodných součástí. A vida, letos je snadno realisovatelný. Asi se za tu poměrně krátkou dobu leccos změnilo: dostaneme koupit levný kabelkový přijimač Minor, za výkaly obchodů nás láká páskový adaptér z Valašského Meziříčí nebo kufříkový magnetofon z Pardubic – a třetí nahrávač přijde co nevidět na trh, kdo chce, dostane dokonalejší televizor i autopřijimač, je

plánována stavba kmitočtově modulovaných vysilačů, máme hojnější výběr elektronek, reproduktorů a ostatních součástí. Zkrátka zdá se, že výroba i vnitřní obchod se staly jaksi štědřejšími. Staly se?... Ne, nestaly se samy od sebe. Vše to, co máme k disposici pro svou práci a zábavu dnes, se nestalo samo od sebe. Máme to jen proto, že se všichni pracující ve výzkumných a vývojových ústavech, v továrnách surovinové i součástkové základny i v závodech, které montují finální výrobky, přičinili. Že to není všechno co bychom chtěli? Pravda, a nejen to, není to ani všechno, co bychom mohli mít ze všeho toho přičinování. Leccos totiž nešlo jak na drátkách. V leckterém závodě i ministerstvu to zaskřípallo a jak známo, každé takové suché tření pohltí kus energie, v našem případě kus toho, co mohlo být a není – více rozmanitějších výrobků. Jakpak bychom si nepřáli, aby se to zlepšilo. Přejeme ale důležité je, že také můžeme dosáhnout nápravy: rozhlédnutím kolem sebe, hledáním cest, jak zjištěné nedostatky napravit a kde síly nestačí, upozorněním stranických orgánů v celostátní diskusi. Naše celostátní pospolitost provádí na závěr roku gruntování, obvyklé v každé domácnosti, dbalé na pořádek. A v našich řadách nemůže chybět nikdo, kdo by se k takovému čištění nepřipojil; vždyť všichni chceme, aby nás v nastávajícím roce přivítal závan svěžího jarního vzduchu!

ZARÍZENÍ PRO VĚRNÝ PŘEDNES

Antonín Rambousek

PRVNÍ ČÁST

Úvod

Lidové rčení „je-li konec dobrý, je všechno dobré“ je možno do jisté míry aplikovat i na reprodukční zařízení. Ale i když je koncový stupeň zesilovače nejnáročnější pro splnění podmínek *vysoké věrnosti reprodukce*, přece jen jde celkově o značně širší komplexní problém. Nebudeme zde rozebírat, jak je široké akustické pásmo, řekněme si však hned v úvodu, že při poslechu rozhlasu s amplitudovou modulací (na dlouhých a středních vlnách) jsme velmi značně omezeni kmitočtovou těsností. Neměnitelná mezinárodní úmluva o odstupu mezi jednotlivými vysílači je příčinou všech nesnází. Přestože jsou v praxi voleny kmitočty rozhlasových vysílačů tak, aby stanice s blízkým kmitočtem byly geograficky více vzdáleny, přece zůstává poslech se širším reprodukovaným pásmem výsadou místních vysílačů.

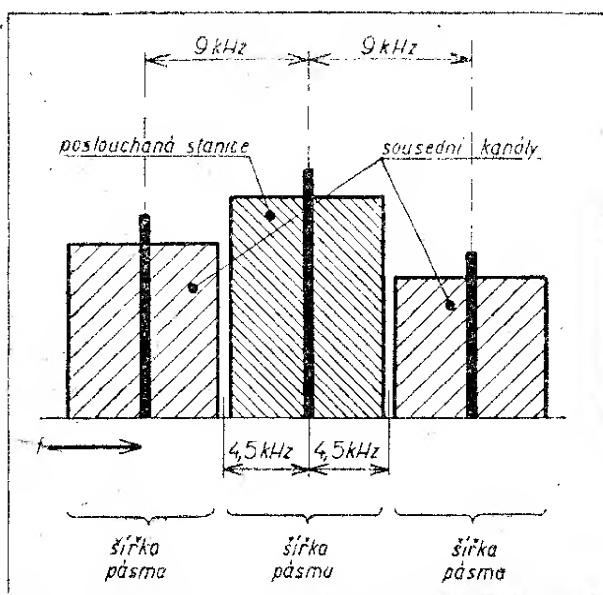
I když poslech rozhlasu na středních vlnách není jedinou možností, přece jen je stále nejrozšířenější. Je proto nutno již na začátku tohoto pojednání ujasnit,

jak je to s kvalitou poslechu AM na středovlnném a dlouhovlnném pásmu.

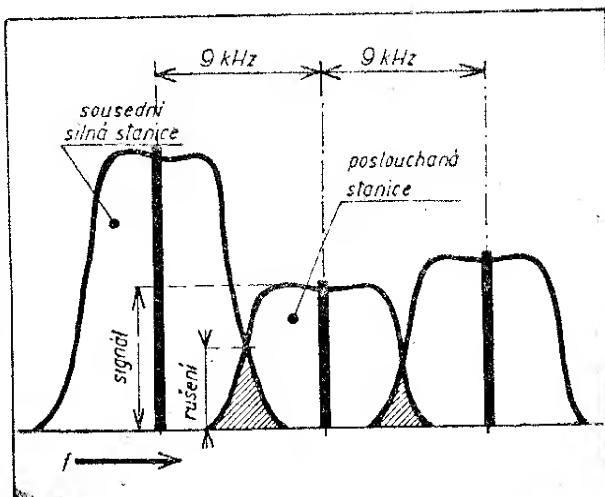
Je možno sestrojit dobrý rozhlasový přijimač (AM), jehož reprodukce se nám líbí. Většina dnešních přijimačů má tuto vlastnost a přesto nelze tvrdit, že jde o vysokou věrnost reprodukce. Kdybychom porovnali tentýž program vysílaný současně středovlnným vysílačem a VKV vysílačem s kmitočtovou modulací (FM) na tentýž kvalitní přijimač, byli bychom překvapeni podstatným rozdílem. V čem tedy tkví rozdíl, dostávají-li oba vysílače ze studia rovnocenné zvukové spektrum?

Rozhlasový přijimač pro střední vlny nemůže v žádném případě přijímat celé modulační spektrum vysílače, neboť nosné kmitočty jednotlivých vysílačů jsou od sebe vzdáleny jen 9 kHz. Pochopitelně se mohou o tento kmitočtový odstup dělit vysílače, umístěné vedle sebe, vždy jen na polovic. Z obrázku I-1 je jasné, že v ideálním případě by bylo možno poslouchat pouze v kmitočtovém rozsahu do 4,5 kHz.

To, že průběhy okruhů přijimače nejsou ideálně obdélníkové, a to, že pole vysílačů mají v místě příjmu různou sílu, zhoršuje podstatně, ale někdy také zlepšuje situaci. Posloucháme-li slabší vysílač v blízkosti silného na sousedním ka-



Obr. I-1.



Obr. I-2.

nálu (obr. I-2), je pravděpodobnost rušení veliká.

Posloucháme-li naopak silný vysílač mezi sousedními slabými a vzdálenými, je rušení zcela slabé a někdy nepozorovatelné i tehdy, použijeme-li pro poslech rozšířeného propouštěného pásma přijimače (obr. I-3). Číselně vyjádřeno: při běžném poslechu můžeme počítat s reprodukcí asi do 2500 až 3000 Hz. Naopak podaří-li se u poslechu místního vysílače reprodukovat celé pásmo do necelých 9000 Hz (samozřejmě s potlačením interferenčního hvizdu na 9000 Hz) můžeme mluvit o výborné reprodukci, ačkoliv pro t. zv. vysokou věrnost máme měřítko ještě přísnější.

Vysoká věrnost reprodukce

Takto pojmenovaná kvalita reprodukce (mezi techniky označovaná zkratkou Hi-Fi = High Fidelity), jak již slovo vyjadřuje, vyžaduje, aby sluchový vjem reprodukovaného zvuku byl shodný se sluchovým vjemem původního zvuku. To je však velmi jednoduše řešeno a musíme si ujasnit, čím se vlastně mohou oba uvedené vjemy navzájem lišit.

Odmyslíme si prozatím, že zpravidla originály zvuku posloucháme za zcela odlišných akustických podmínek než zvuky reprodukované a budeme porovnávat samotné zvuky. Především to, o čem se nejčastěji hovoří – *kmitočtový rozsah*. Zopakujeme-li si fyziku ze školy a nauku o sluchu, dojdeme k potřebnému kmitočtovému rozsahu 16 až 16 000 Hz. Při té příležitosti je nutno připomenout, že nižší kmitočet než 16 Hz vnímáme již jako nárazy nebo údery, nikoliv jako tón, a to, co při takovýchto zvucích obyčejně slyšíme, jsou pouze harmonické kmitočty. Z toho plyne i ponaučení, že se budeme raději snažit kmitočtový rozsah pod 16 Hz potlačit, abychom se zabavili reprodukce pazvuků, které dobrý poslech ruší.

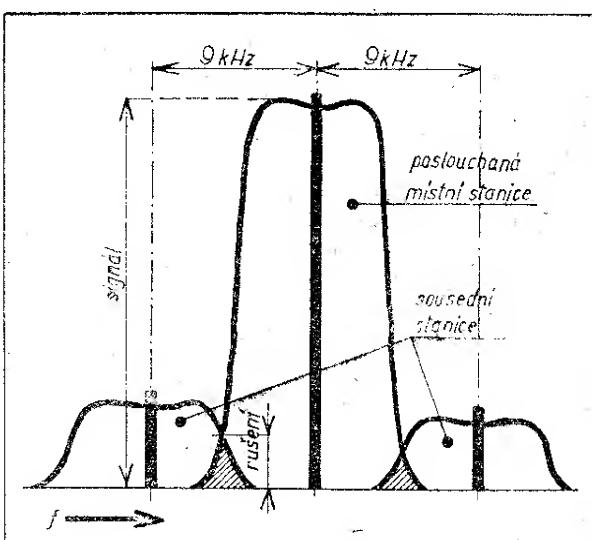
Dostatečný kmitočtový rozsah je nejzákladnějším požadavkem, ale ne jediným. Druhým a stejně závažným je požadavek přenášení všech zvuků v původní podobě, v původním neskresleném tvaru. Tento druhý požadavek v sobě zahrnuje tři různá skreslení, která je nutno udržet na nejnižší přípustné hodnotě.

Prvním je harmonické skreslení, vznikající nelinearitou elektronek a transformátorů a projevuje se vznikem dalších harmonických kmitočtů. Druhým je skreslení intermodulační, které způsobuje rovněž nelinearitu a projevuje se vznikem interferenčních tónů. Kapacity a indukčnosti způsobují jednak různé fazové posuvy různých kmitočtů a mimo to mají podstatný vliv na nakmitávání zesilovače, respektive jeho stabilitu. Je proto nutno každé jejich použití dobře zvážit.

Jsou-li všechny uvedené druhy skreslení minimální, zřídka se vyskytne skreslení dynamiky. Je ovšem možné změnu dynamiky uměle a záměrně vyvolat bez nebezpečí vzniku jiného nepříjemného skreslení, ale o tom bude zmínka v dalších statích.

Dalším, někdy snad poněkud opomíjeným požadavkem na vysokou věrnou reprodukci, je přizpůsobení akustických prostorů. Směrové účinky, které se různě projevují podle kmitočtu (vyšší tóny jsou směrovější, nízké téměř nesměrové) často skreslují názor na kmitočtové průběhy reprodukčních zařízení, poslouchaných z různých míst prostoru. Akustické podmínky v poslechové místnosti (pohlcování, odraz zvuku různých kmitočtů) podstatně ovlivňují celkovou kvalitu reprodukce.

Ke všemu tomu, aby to nebylo tak jednoduché, přistupují ještě rozmary sluchu. Kmitočtová závislost ucha je různá

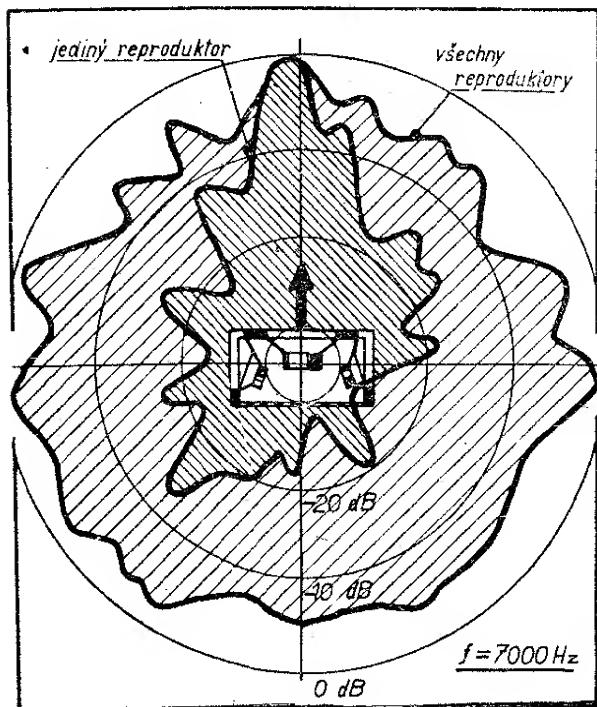


Obr. I-3.

pro různé hlasitosti zvuku. K tomu, aby chom vnímali na příklad orchestrální hudbu stejně jako v koncertním sále, museli bychom při zachování lineární reprodukce celkovou hlasitost reprodukce nastavit na stejnou hodnotu jako v koncertním sále. Poněvadž chceme žít v míru se svými sousedy, musíme hlasitost reprodukce doma podstatně zmírnit. To však má za následek i to, že musíme kmitočtové průběhy upravit tak, aby celkový sluchový vjem zůstal zachován.

V souhrnu můžeme říci, že nejen „konc“, ale i ostatní části reprodukčního zařízení, včetně místnosti, mají svoje problémy. Nestačí zlatá písmena „Hi-Fi“ na brokátu reproduktoru označit vysokou věrnost reprodukce. Je nutno se opravdu zabývat celým komplexním problémem.

Zařízením s vysokou věrností reprodukce věnují konstruktéři velkou pozornost zejména v souvislosti s kmitočtovou modulací a s dnešními možnostmi kvalitních zvukových záznamů jak gramofonových tak magnetofonových. Kapitalističtí podnikatelé však někdy věnují neúměrně mnoho péče i nákladů reklamě výrobkům nesoucím, ne zcela oprávněně, označení „Hi-Fi“.



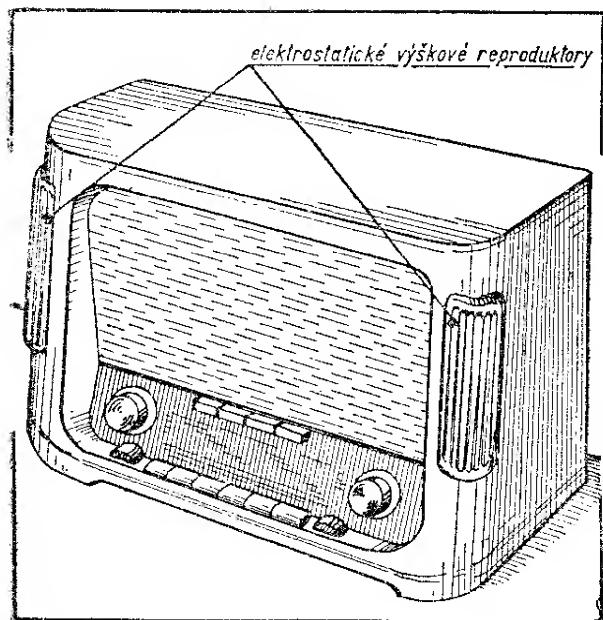
Obr. I-4.

Na druhé straně průběhem času, kdy se rozvíjel poslech rozhlasu, průběhem všech stadií vývoje rozhlasového přijimače a do jisté míry i rozhlasového vysílání, přivyklo naše ucho mnohému. Víme, že ještě většina přijimačů, na které se poslouchá, je vybavena t. zv. tónovou clonou, která s hlediska věrnosti reprodukce je úplným protikladem toho, co si pod věrnou reprodukcí představujeme. A uděláme-li si průzkum, jak je který přijimač nastaven, budeme možná překvapeni procentem přístrojů, jejichž tónová clona je nastavena na nejtemnější polohu, t. j. na to nejhorší. To je smutná skutečnost, jejíž příčiny jsou především v nepříznivých podmínkách poslechu na středních a dlouhých vlnách se vším rušením jak atmosférou, tak nejrůznějšími elektrickými spotřebiči, vypínači, výtahy atd. Taková „zacloněná“ reprodukce nedosahuje ani kmitočtového rozsahu do 2500 Hz, o kterém jsme mluvili v úvodu.

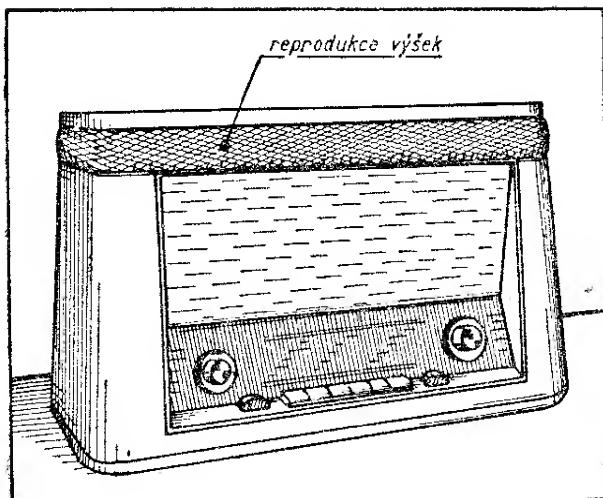
Příklady dobré a špatné

Současný světový trh-však již vyplňuje tuto nejbolavější mezeru. Objevila se celá řada přijimačů, které mají „tónovou clonu“ nahrazenou nezávislou regulací výšek a hloubek. Rozhlasové přijimače jsou vybavovány i VKV rozsahem v pásmu $87 \div 100$ MHz, jehož poslech je zvlášť příznivý pro splnění vysokých nároků na reprodukci.

Se širokopásmovou reprodukcí vznikla nutnost řešit i otázku směrovosti vysokotónového reproduktoru. Zatím co první přijimače pro příjem kmitočtové modulace byly prostě vybaveny druhým vysokotónovým reproduktorem, netrvalo dlouho a výrobci se předháněli v tom, kdo lákavěji vystihne tak prostou věc: rovnoměrné šíření zvuku z přijimače nejen dopředu, ale i do stran v celém zvukovém spektru. Nejméně přiléhavé je označení 3 D, odvozené od tří dimenší přes to, že v žádném případě nejde o trojrozměrnou či plastickou reprodukci. Střízlivější je označení 4 R, použité pro vyjádření reprodukce ve všech čtyřech směrech. Setkáme se s označením „Dirектton“ ve smyslu přímý – bezprostřední, s označením „Raumklang“ – prostorový zvuk a mnoho jiných.



Obr. I-5.

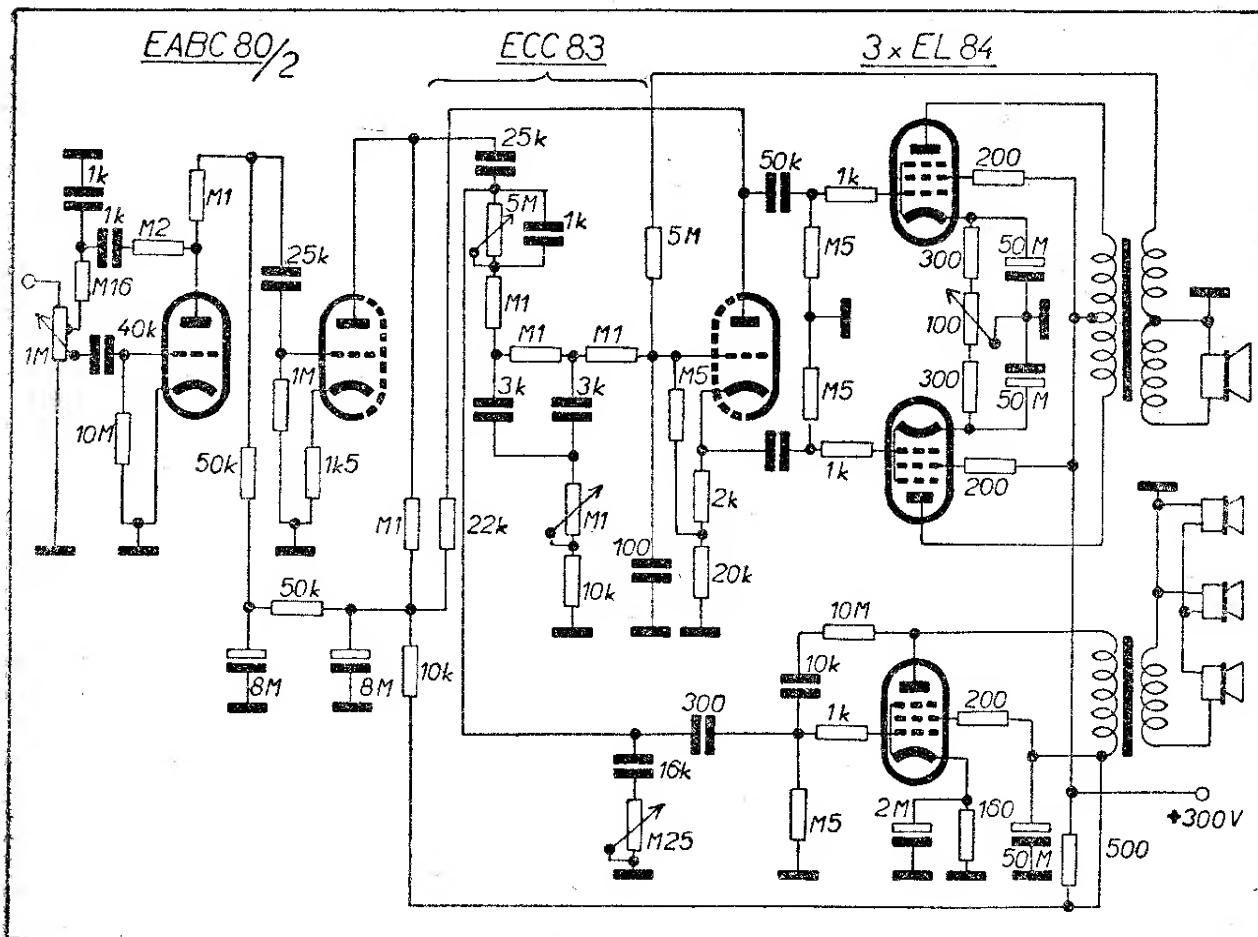


Obr. I-6.

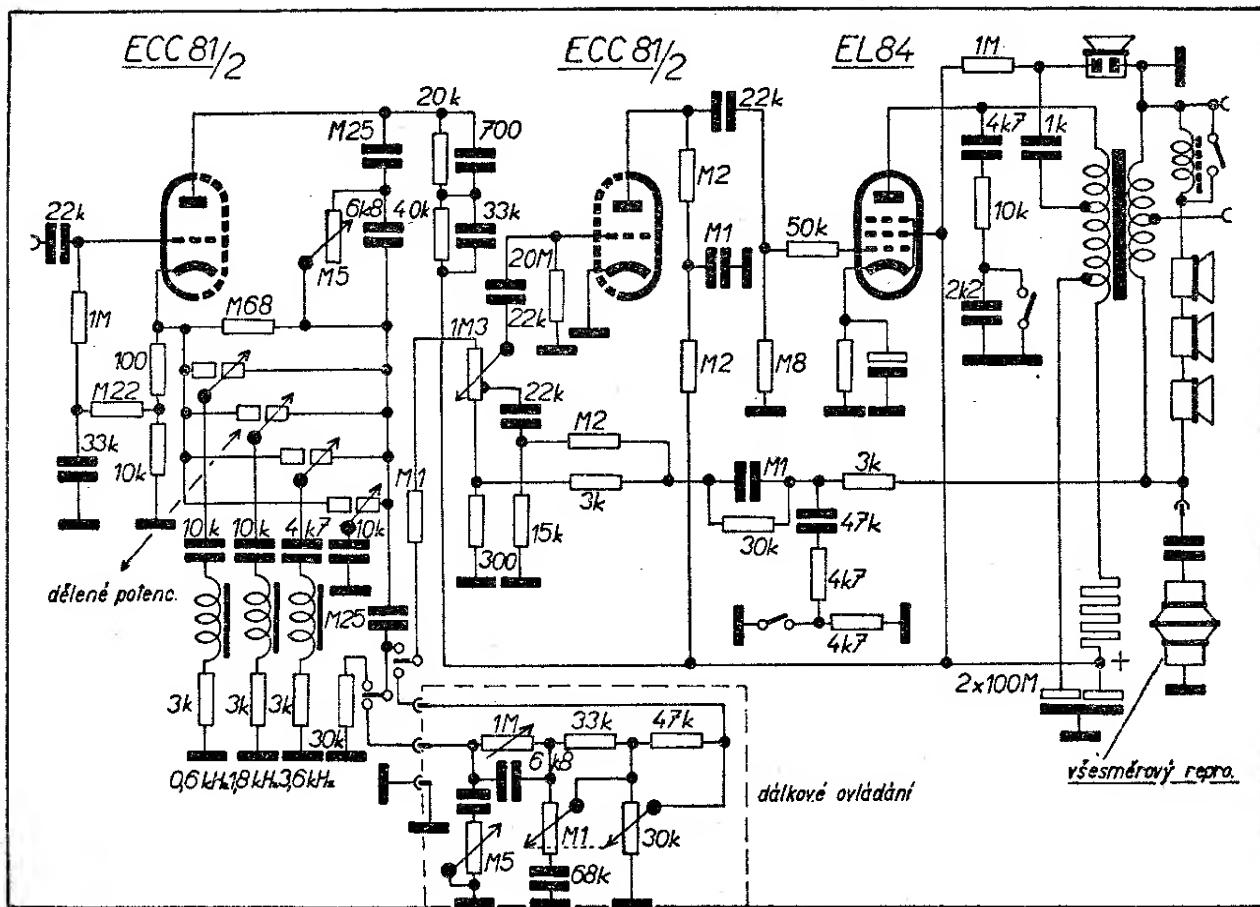
Je zcela pochopitelné, že ruku v ruce se všeobecnou reprodukcí zvuku stalo se také označení Hi-Fi zcela módní zále-

žitostí. Celá řada rozhlasových přijímačů dostává dnes toto označení.

Z vlastností, kterými se tyto přístroje vyznačují, vybereme si ty nejzávažnější. V drtivé většině se všechno týká přijímačů s rozsahem pro kmitočtovou modulaci.



Obr. I-7.



Obr. I-8.

Docela běžně se dnes používá více reproduktorů. Při tom je vždy dbáno, aby výškové reproduktory byly rozmístěny jak na přední stěně, tak i po obou stranách skřínky přístroje. Na obrázku I-5 je příklad dvou vysokotónových elektrostatických reproduktorů ve tvaru části válcové plochy. Jejich umístění na hrany skříně tvoří současně část ozdoby.

Jiné řešení je na obrázku I-6. Zde jsou výškové reproduktory umístěny do úzké mezery mezi dvě desky. Mezera je otevřena na všechny tři strany a je maskována ozdobnou kovovou mřížkou. Jiné řešení používá pro reprodukci výšek jedinou tlakovou reproduktorovou hlavici a zvuk je rozveden zvláštním poměrně dlouhým zvukovodem (končícím několika zářezy) na obě strany skřínky.

U přijimačů tohoto druhu jsou daleko nepříznivější podmínky pro reprodukci hlubokých tónů. Celková plocha membrán, vyzařujících hluboké tóny, neodpovídá zdaleka požadavkům na dobré akustické přizpůsobení. Kromě toho i ve-

likost a konstrukce skříní, které nejsou z tepelných důvodů těsně uzavřené, nikterak v tomto ohledu nepomáhá. Nezbývá nic jiného než dohánět tyto nedostatky zdůrazněním hloubek v zesilovači.

Druhým charakteristickým ukazatelem je nákladněji a pečlivěji provedená konstrukce nízkofrekvenčního zesilovače, zejména koncového stupně. Těchto řešení je celá řada od nejjednodušších po nejnáročnější. Pozvolna získávají převahu zesilovače souměrné, ať již klasické push-pully nebo modernější tak zvané PPP (push-pull-parallel) nebo tak zvané zesilovače ultralineární.

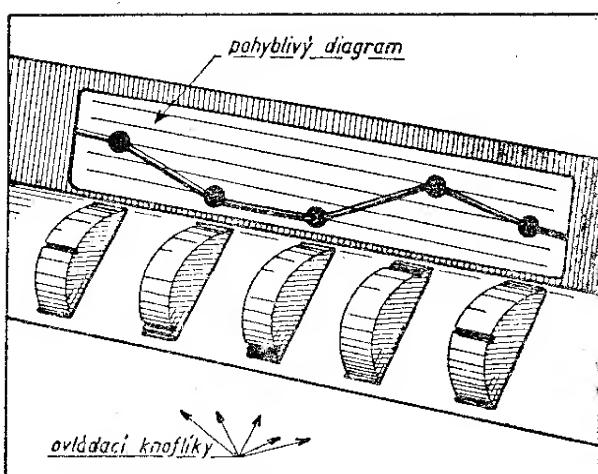
Třetím typickým ukazatelem je bohaté vybavení kmitočtovými korekcemi. Počínaje prostým ovládáním výšek a hloubek dvěma knoflíky přes různé tlačítkové voliče barvy zvuku podle druhu programu až po několikaknoflíkové regulátory jednotlivých částí pásma v podobě rejstříků.

Podívejme se na několik příkladů. Obr. I-7 je schema nf části přijimače

„Beethoven“ z NDR. Je to jeden z typických příkladů rozdělení zvukového spektra na dva samostatné a zvlášť ovládané koncové zesilovače.

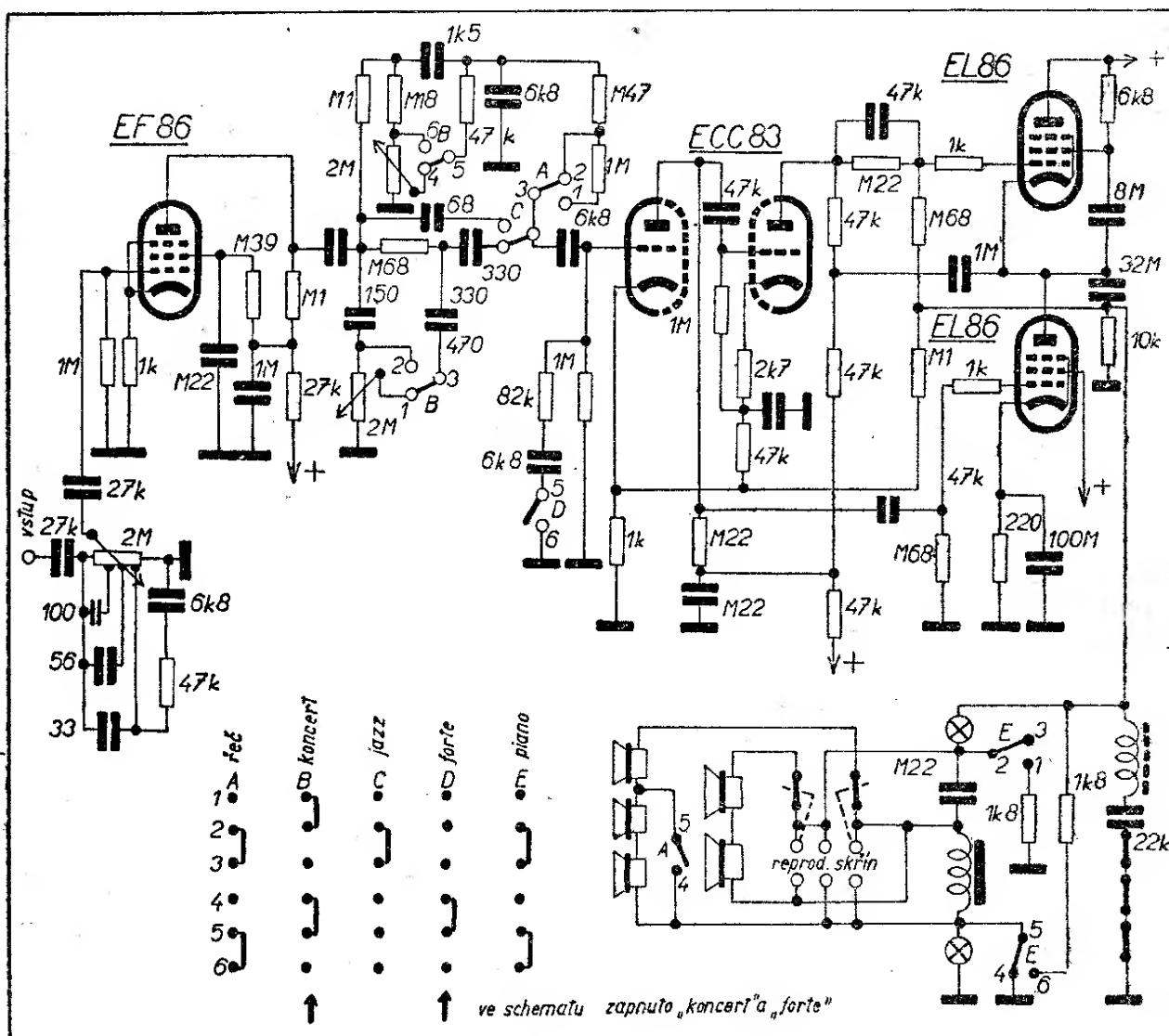
Jiným typickým řešením je přijimač Grundig se skupinou pěti plynule ovládaných rejstříků s dvojitými potenciometry (označenými „Wunschklangregister“), které samostatně regulují vždy část spektra (obr. I-8).

Každý z uvedených knoflíků (kotoučků) pohání ještě malý bubínek s červenou značkou. Značky vytvoří spolu se spojovacím vláknem jakýsi obraz kmitočtového průběhu (obr. I-9). Prakticky se však ukazuje, že takováto regulace kmitočtového průběhu je více reklamní chyták než účelné a potřebné zařízení.

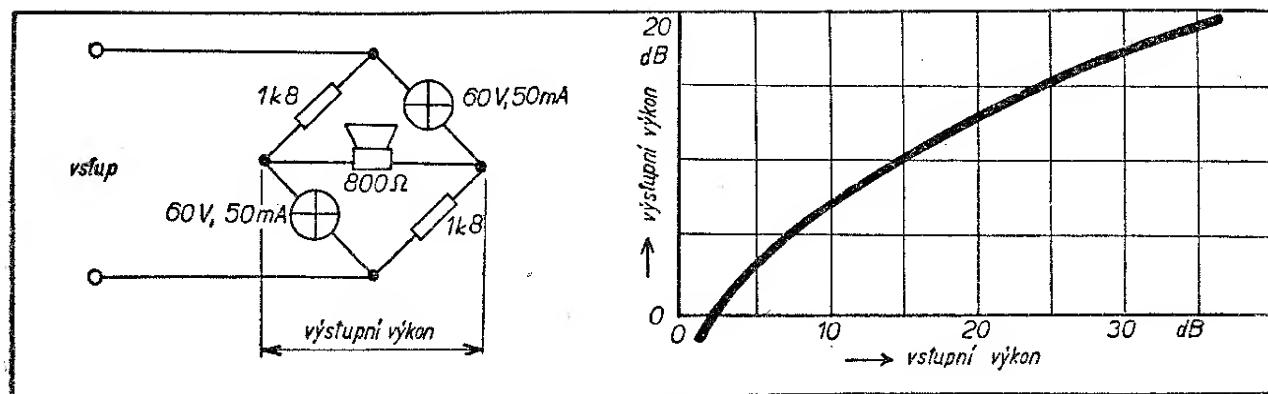


Obr. I-9.

Daleko účelnější je třetí příklad přijimače Philips (obr. I-10).



Obr. I-10.

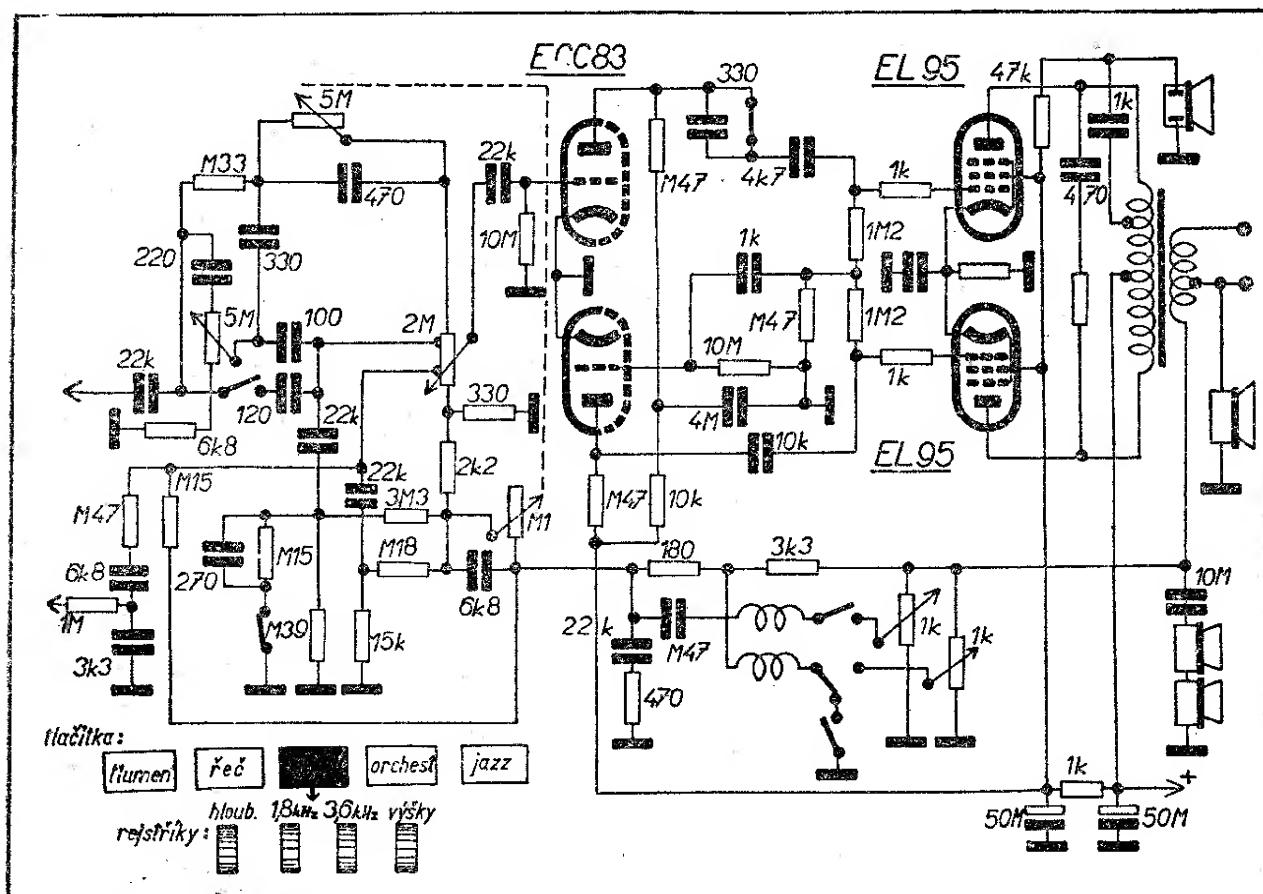


Obr. I-11.

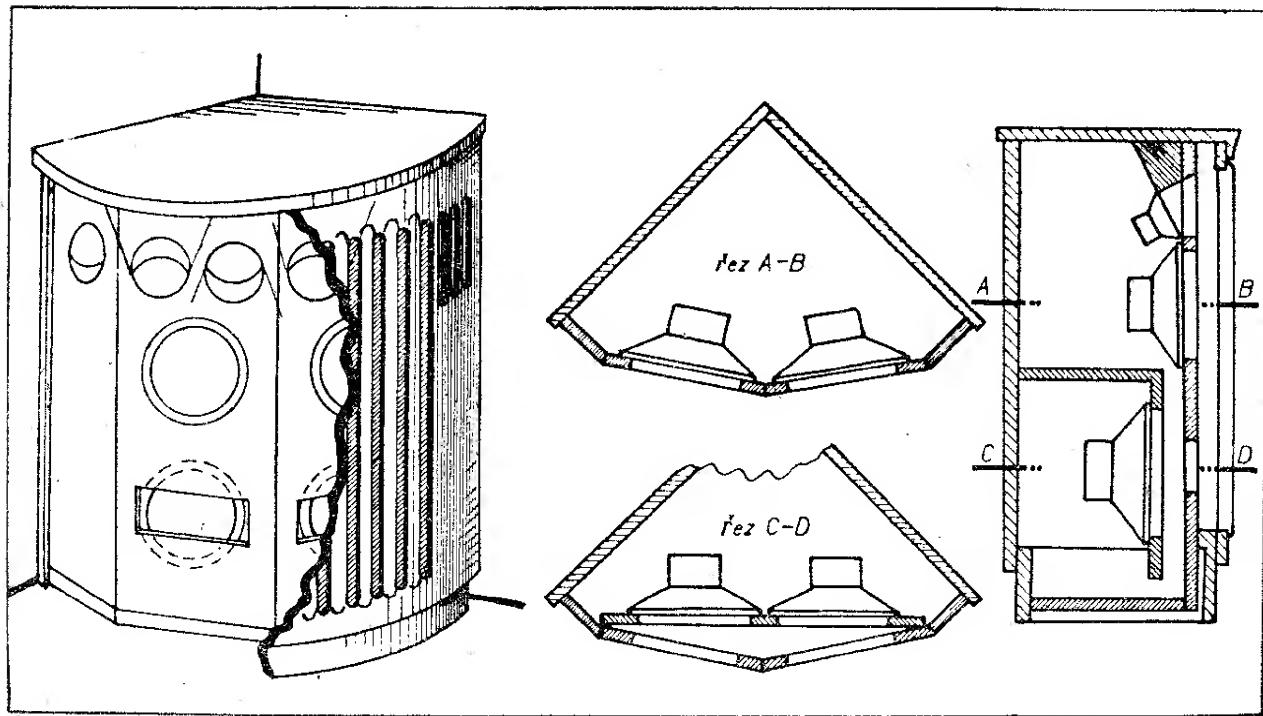
Změna zvukového přednesu je shrnuta do pěti tlačítek, z nichž první tři jsou pro volbu mezi třemi typickými rejstříky (řeč, koncert, jazz) a dvě pro volbu hlasitosti. Přijimač má pro potřebu tichého nočního poslechu možnost zapojení vtipného kompresoru dynamiky. Zařízení (obr. I-11) spočívá v jednoduchém můstku, jehož dvě ramena tvoří žárovečky, jejichž odpor se značně mění stupněm nažhavení. Správnou volbou hodnot

můstku lze dosáhnout velmi důrazného stlačení dynamiky. Současně se zapojením tohoto můstku zapíná se ještě přídavná korekce, která zdůrazňuje hluboké tóny podle fysiologické křivky sluchu. Koncový stupeň má moderní zapojení bez výstupního transformátoru.

Posledním příkladem zbrusu novým (pro sezónu 1957/58), ukazujícím názorně potřebu „taháků“ na zákažníka, je opět přijimač *Grundig*. Volba kmitočtového



Obr. I-12.



Obr. I-13.

průběhu je provedena jak čtyřnásobným plynulým rejstříkem, tak čtyřmi tlačítky (obr. I-12).

Rozhlasové přijimače, jejichž příklady jsou v předešlých odstavcích uvedeny, nejsou však těmi pravými představiteli vysoce věrné reprodukce. Na světovém trhu se stále častěji objevují přístroje vybavené samostatně reproduktovými skříněmi. Takové přijimače mívají dokonce z vlastní skřínky reproduktory vypuštěny.

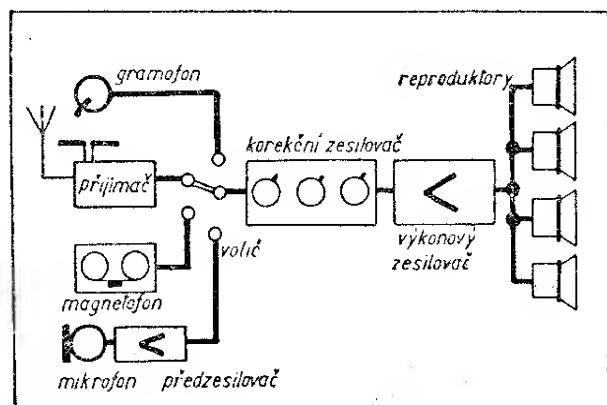
I zde si uvedeme jeden příklad, nazvaný „kombinace pro komorní hudbu“. Přijmač doplněný gramoměničem a magnetofonem je umístěn v nízké skřínce v podobě servírovacího stolku. Reproduktory jsou umístěny v rohové skříně. Zařízení má celkem deset reproduktorů (obr. I-13).

Je vybaveno zesilovačem 20 W o kmitočtovém rozsahu od 20 Hz do 100 kHz při skreslení menším než 1,5 %.

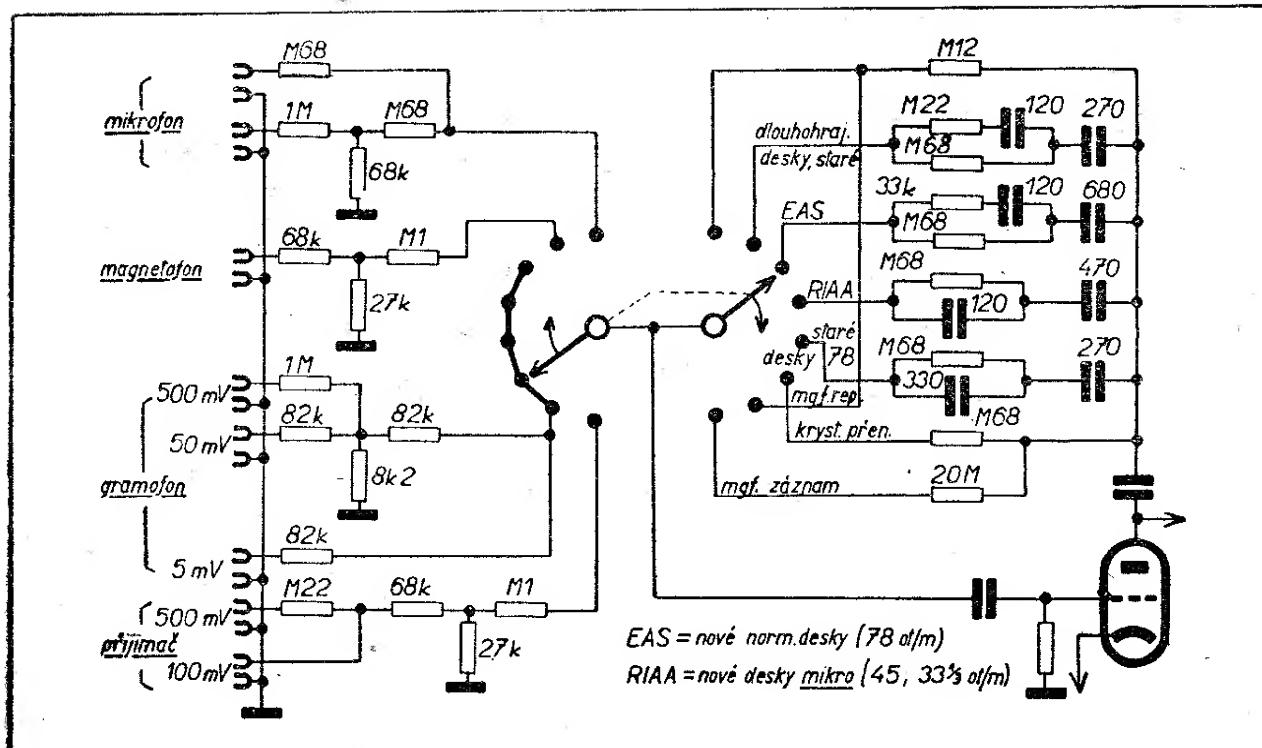
Vstupy a vstupní voliče

V předešlých odstavcích jsme si řekli, že stavba zařízení pro vysokou věrnost reprodukce je komplexním problémem, ze kterého si v této části postupně ujasníme jeho jednotlivé části. Celý řetěz má několik článků (obr. II-1).

Prvním článkem je zdroj nízkofrekvenčního napětí, který nám dodává celé zvukové spektrum ve formě střídavého napětí. Může to být rozhlasový přijimač (jeho detekční část), gramofonová přenoska, magnetofonová reprodukční hlava s příslušným předzesilovačem nebo i mikrofon. Použijeme-li několika těchto zdrojů, budeme dbát toho, aby jejich výstupní napětí se navzájem mnoho neлиšilo, říkáme: aby všechny prvky měly stejnou výstupní úroveň. V praxi se však setkáváme daleko častěji s tím, že výstupní úroveň se bude lišit. Navíc k odchylkám úrovně přibude zpravidla ještě to, že některé ze zdrojů potřebují upra-



Obr. II-1.



Obr. II-2.

vit kmitočtovou charakteristiku. Řekli bychom, že korektory, které jsou (jak dále poznáme) v samotném vstupním zesilovači, celkem hravě všechny tyto požadavky splní. I když tomu tak je, přece je výhodnější upravit jednotlivá vstupní napětí již na vstupu a vlastní regulaci přednesu tím nijak neomezovat. Důvod je velmi závažný. Některé nf zdroje potřebují kmitočtovou úpravu ve velmi značném rozsahu a tím bychom zkracovali nebo vůbec znemožnili další regulaci zvuku podle druhu hudby nebo podle vlastního poslechu. V každém případě se budeme snažit o to, aby celé zařízení reprodukovalo zvuk při základní poloze všech regulačních členů naprostě věrně. (Jen takovému zařízení můžeme říkat Hi-Fi).

Příklad dobrého vstupního voliče je na obr. II-2.

Je tvořen dvojitým přepinačem po osmi kontaktech. Jedna část přepíná vlastní zdroje. Každý vstup má jednak několik možností podle výstupní úrovně, které jsou připojenými děliči upraveny na potřebnou hodnotu. Druhým přepinačem se současně zapínají potřebné hodnoty zpětnovazební korekce, zapojené na vstupní elektronku. Pro repro-

dukci gramofonových desek je použito celkem 5 poloh přepinače. To plyne z nutnosti přizpůsobit kmitočtový průběh různým druhům gramofonového záznamu. Původní (starsí) desky jsou nahrávány zcela jiným kmitočtovým průběhem než desky dlouhohrající a dokonce i mezi těmito je rozdíl. Na obrázku II-2 jsou jednotlivé polohy jasně označeny. Je zde počítáno i s připojením mikrofonu pro potřebu magnetofonového záznamu. Samozřejmě je možné kterékoli polohy vynechat nebo upravit podle individuální potřeby.

Vstupní zesilovač s případným vstupním voličem a přizpůsobovacími korektory tvoří druhý článek řetězu. Je důležité, aby i tento článek měl lineární průběh a všechny vlastnosti, které požadujeme od celého zařízení.

Korektory a korekční zesilovače

Třetím článkem bude jednotka, obsahující vlastní korektory, umožňující změnu kmitočtové charakteristiky celého zařízení, t. j. odchylky kmitočtového průběhu od základního lineárního průběhu.

Mezi nejprimitivnější korektory řadíme zvukové clony, kterými byla vybavována většina rozhlasových přijimačů.

Zpravidla jsou sestaveny z kondensátoru a proměnného odporu, zapojených v řadě mezi mřížku nebo anodu elektronky a zem (obr. II-3).

Podobné clony je možno uspořádat i s proměnným kondensátorem a pevným odporem nebo stupňovitě použitím přepinače bez nároku na plynulé nastavení. Všechny tyto clony však mohou pouze potlačit vyšší kmitočty, t. j. vlastně ztemnit zvuk.

Z křivek citlivosti sluchu a z potřeby přizpůsobit reprodukci jak charakteru programu tak i jiným podmínkám, plyne nezbytnost nejen vysoké tóny tlumit, ale i zdůrazňovat a kromě toho stejným způsobem měnit i reprodukci hlubokých tónů. Samostatná regulace hloubek a výšek se ukazuje jako jediný správný způsob regulace zvuku.

Zpětné vazby jsou velmi dobrým prostředkem pro tyto účely. Moderní rozhlasové přijimače mají dnes, díky přiměřeným zpětným vazbám, velmi dobře vyváženou reprodukci. Pro takové přizpůsobení reprodukce subjektivnímu vnímání sluchem jsou určeny korektory (regulátory výšek i hloubek). V prospektech na přijimače se setkáváme s pojmenováním *zvukové* nebo *tónové rejstříky*. V úvodních odstavcích jsme se seznámili s některými příklady a zde si blíže vysvětlíme jejich podstatu jako samostatných jednotek, které je možno vložit nebo předrátit k již existujícímu zesilovači.

Všechny nebo drtivá většina dnešních korektorů má prakticky dva oddělené kanály. Jeden pro hloubky a druhý pro výšky. Tyto kanály probíhají paralelně a sloučují se na svém výstupu v jeden přenosový kanál. Před určitým časem se často používala t. zv. dělená reprodukce, t. j. oba kanály (výšky i hloubky) měly za korekcemi samostatné zesilovače i reproduktory. Tato kombinace je však nevhodná a nákladná. Nevhoda spočívá především v potížích správného nastavení v bodě, kde se oba kanály překrývají. Nesprávné zvládnuté fázové poměry způsobují těžkosti.

Rovněž zapojení korektorů za sebou není výhodné, protože vzájemné potlačení kmitočtů způsobuje nesnáze. Na příklad vysoké tóny, potlačené hloubkovým korektorem, se nám již nepodaří

zdůraznit bez použití přídavného zesilovacího stupně.

Celkově můžeme korektory rozdělit do několika hlavních skupin.

1. Korektory tvořené pasivními prvky (většinou $R-C$ členy) jako proměnné výškové a hloubkové propustě.

2. Korektory využívající proměnných vazeb.

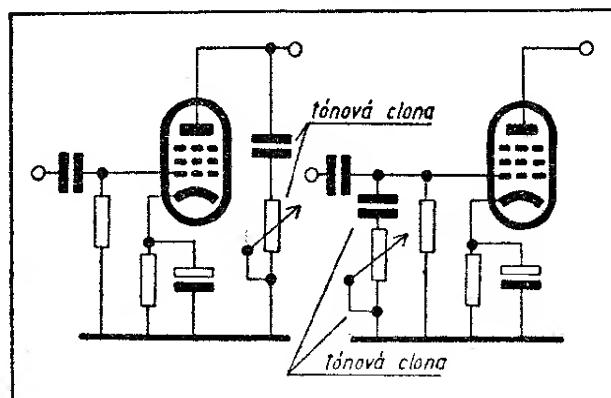
3. Korektory využívající vlivu otáčení fáze.

Korektory s pasivními prvky

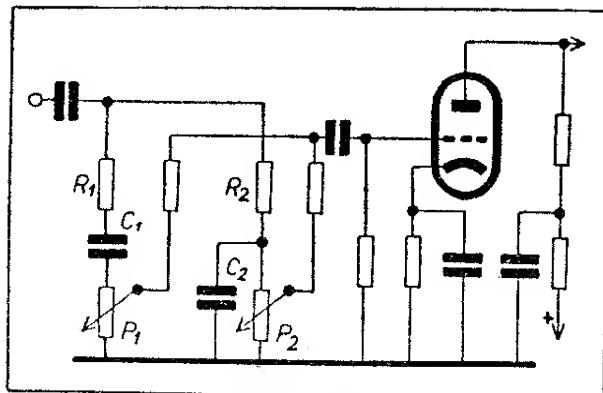
Schema II-4 ukazuje jednoduché zapojení pro krystalovou přenosku. Použíjeli se za diodou přijimače, je nutno vložit oddělovací kondensátor 25 nF. Nízkofrekvenční proud, daný vstupním napětím, dělí se do dvou paralelních kanálů, a to přes odpory R_1 a R_2 , zamezuje výškovému ovlivnění. Vysoké kmitočty procházejí vysokotónovou propustí $R_1 C_1 P_1$. Kondensátor C_2 propouští vysoké kmitočty, střední polohy zeslabuje a nízké kmitočty potlačuje. Hladina se nastavuje potenciometrem P_2 . Druhou cestou je hloubková propust $R_2 C_2 P_2$. I zde se hladina nastavuje potenciometrem P_2 .

Pro dosažení nezávislých korekcí a bez vzájemného vlivu je možno použít zapojení podle obr. II-5. Princip je shodný s příkladem na obr. II-4.

Uvedené dva příklady vlastně pouze potlačovaly nezávisle výšky a hloubky. Výškový korektor potlačoval hloubky a hloubkový korektor výšky. Výsledný průběh je součtem průběhu obou kanálů. Ačkoliv lze říci, že potlačení hloubek je totéž jako zdůraznění výšek a naopak, používá se dnes převážně korektory, které mají obě funkce vyjádřené samo-



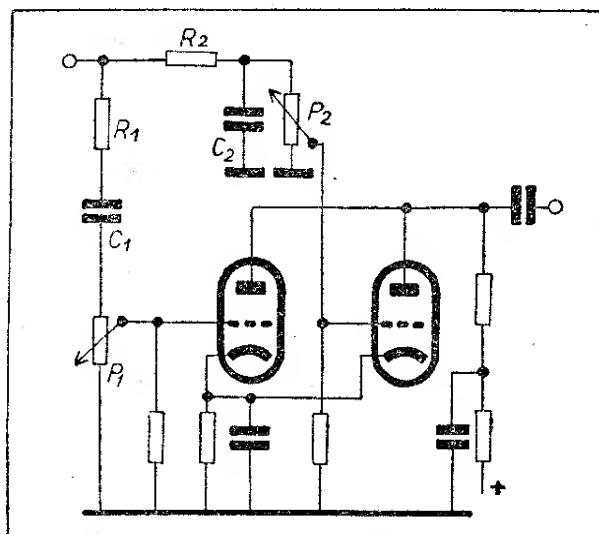
Obr. II-3.



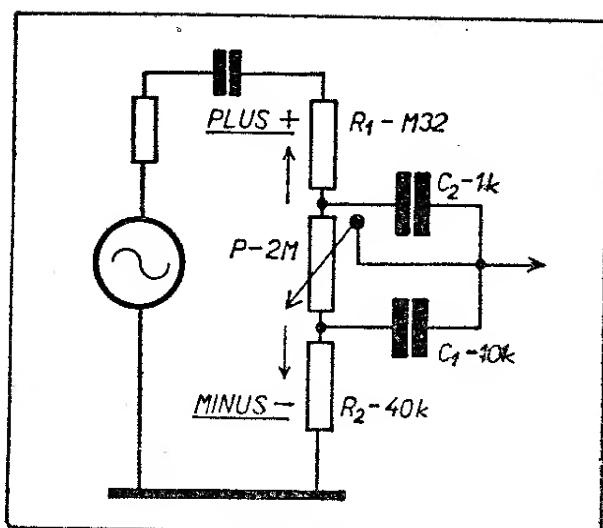
Obr. II-4.

statně u obou regulátorů. Důvod, proč umožňujeme jak zeslabení tak i zdůraznění obou částí pásma, je v tom, že umožňuje daleko větší rozpětí mezi potlačením jedné a zdůrazněním druhé části pásma. Kmitočet, který není ovlivňován ani při regulaci výšek ani při regulaci hloubek, bývá mezi 800 až 1000 Hz. Kde přesně má být rozhraní mezi působením obou částí korektorů, ovlivňují různá hlediska. V praktickém výsledku, t. j. v samotném přednesu, jsou však rozdíly nepozorovatelné.

Korektory této druhé skupiny mají proti předešlým jednoduchým korektórum větší základní útlum, t. j. útlum při nastavení obou regulátorů do základní polohy, při které zůstává celkový průběh lineární. Je to pochopitelné, protože jde o pasivní prvky, u nichž zdůraznění určitých kmitočtů se vlastně dosahuje



Obr. II-5.



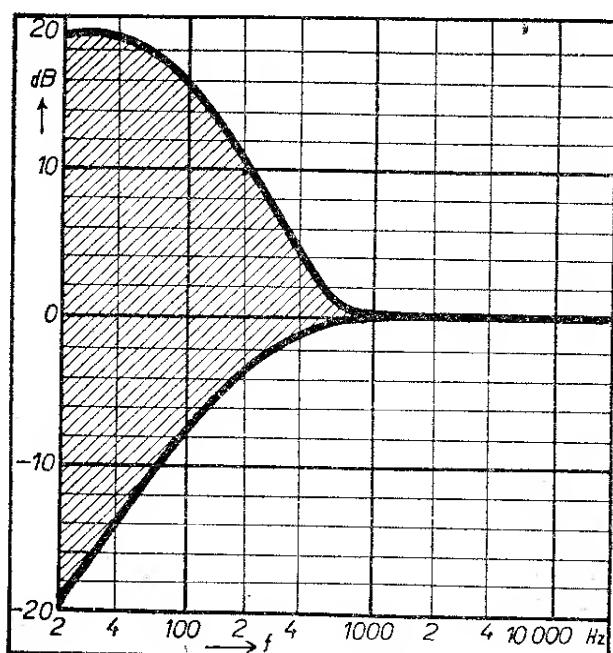
Obr. II-6.

snížením celkové úrovně zbývajících částí spektra.

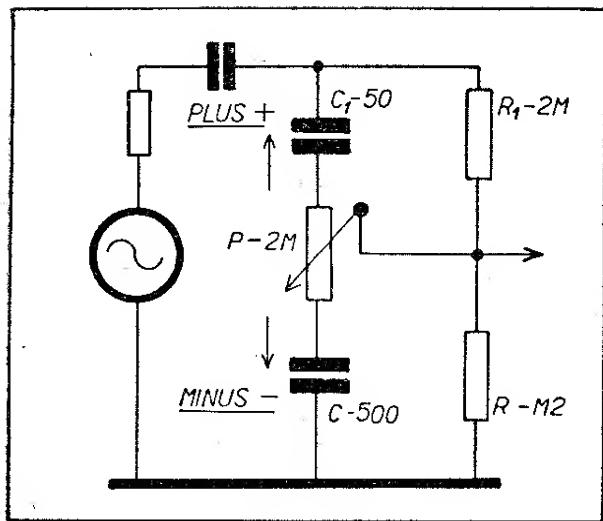
Nejoblíbenějším typem regulátoru hloubek je zapojení podle obr. II-6.

V poloze potenciometru označené „plus“ jsou zdůrazněny hloubky filtrem $R_1 C_1 R_2$ a v poloze „minus“ jsou hloubky potlačeny členy $C_2 R_2$. Základní útlum při poloze potenciometru v dolní třetině je kolem 20 dB. Krajní a střední průběhy jsou naznačeny na obr. II-7.

Protějškem korektoru podle obrázku II-6 je výškový korektor, naznačený na obr. II-8 s charakteristikou podle obr.



Obr. II-7.

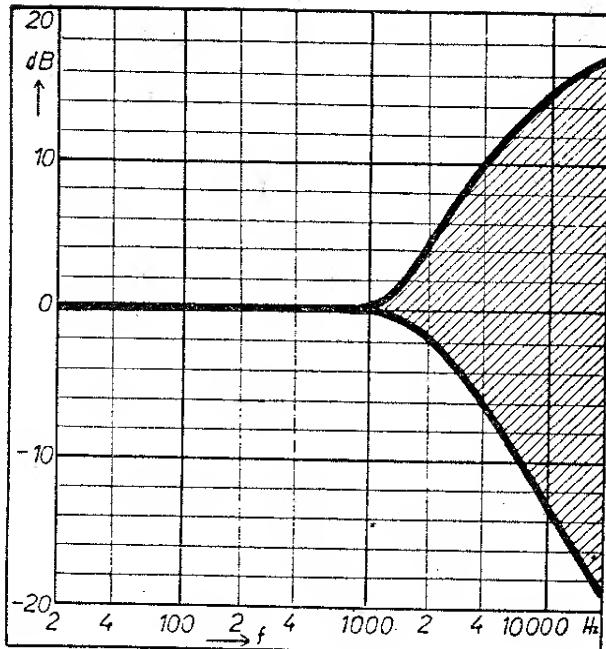


Obr. II-8.

II-9. V poloze potenciometru označené „plus“ jsou výšky zdůrazněny filtrem $C_1 R_1 R_2$ a v poloze opačné („minus“) jsou výšky potlačeny filtrem $R_1 C_2 R_2$.

Oba uvedené korektory se v praxi spojují do jediného celku, aniž by celkový základní útlum byl dvojnásobný, jak by se předpokládalo při zařazení dvou korektorů. S výhodou se kombinovaný korektor zapojuje mezi systémy dvojitě triody.

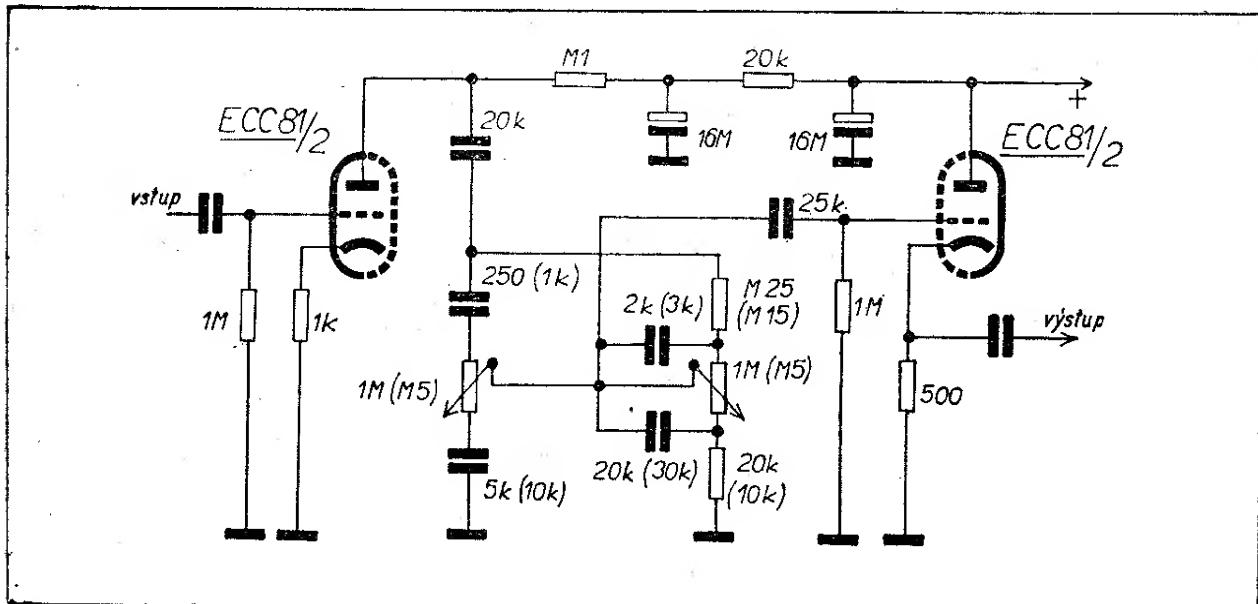
Jeden z obou systémů (obyčejně druhý) je možno zapojit s katodovým nízkoohmovým výstupem. Na obr. II-10 je příklad takového zapojení. – Vzájem-



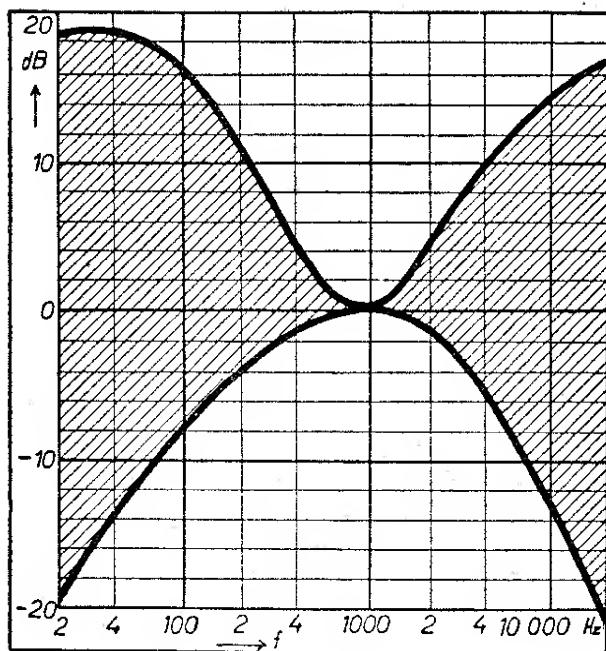
Obr. II-9.

ný vliv prvků korektoru je celkem nepatrný. Kombinaci je možno ještě doplnit regulací hlasitosti a to buď před druhým systémem elektronky, nebo až na výstupu z katodového obvodu.

Pro který způsob se rozhodneme, záleží na celkové koncepci řetězů, t. j. na tom, bude-li korekční jednotka provedena samostatně pro dálkovou obsluhu, nebo bude-li veškeré zařízení soustředěno do jediné skříně. Dvojitým korekto-

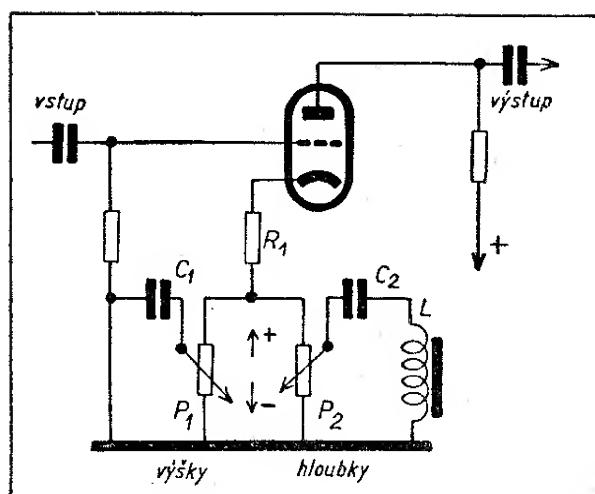


Obr. II-10.



Obr. II-11.

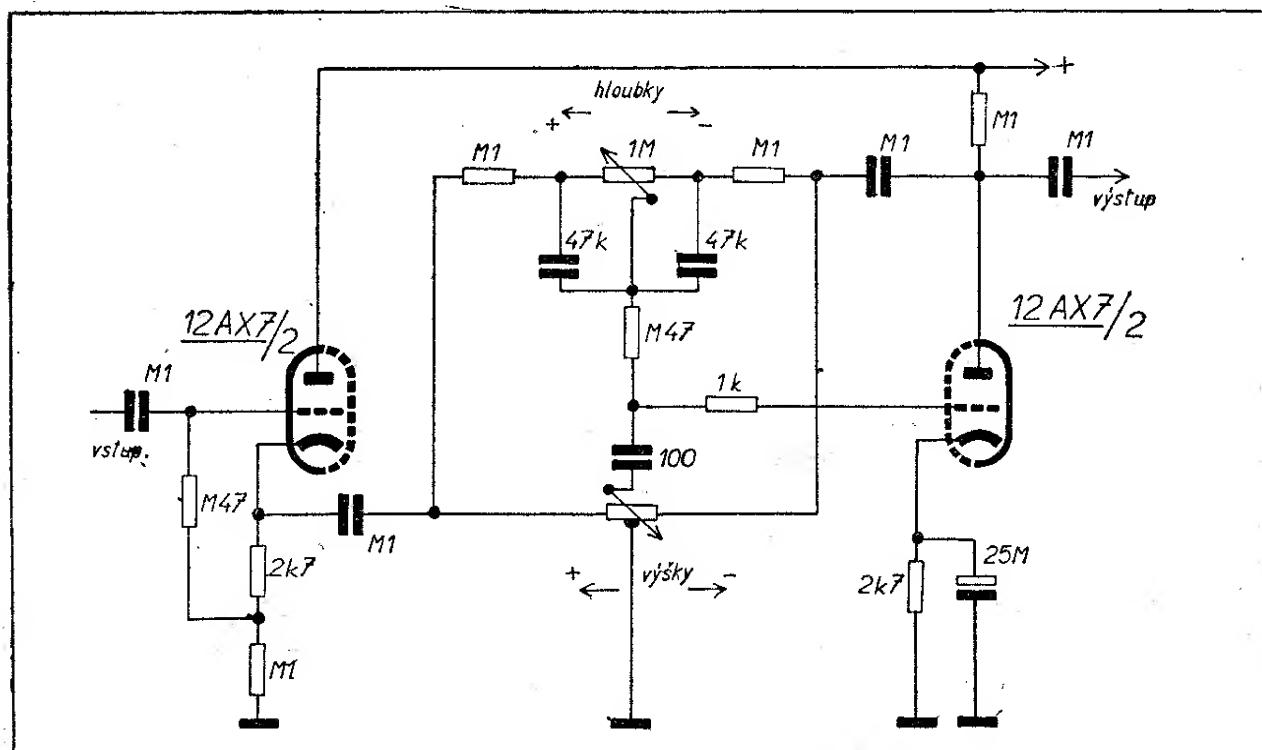
rem podle obrázku II-10 lze tedy samostatně regulovat výšky i hloubky podle průběhu na obr. II-11. Toto provedení regulace zvuku lze pokládat za nejovědčenější a také je nejčastěji v různých obměnách používáno.



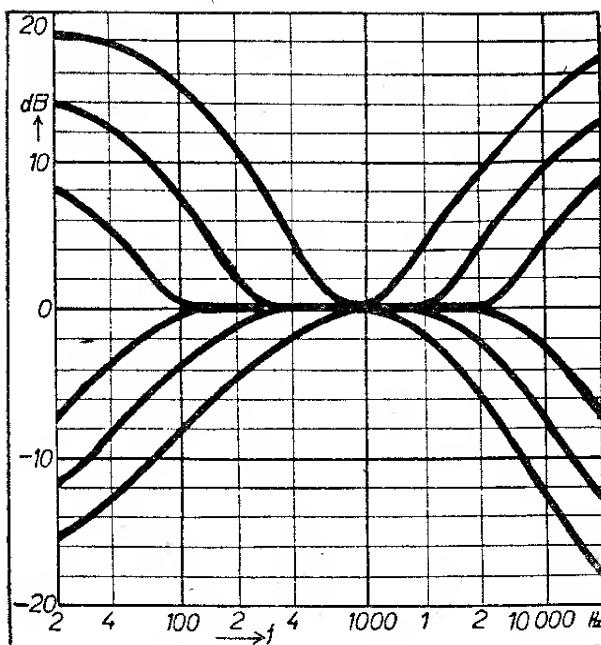
Obr. II-12.

Korektory s proměnnou zpětnou vazbou

Druhý způsob regulace kmitočtového průběhu spočívá v proměnlivé, kmitočtově závislé negativní zpětné vazbě. Nejjednodušší provedení je podle obr. II-12. Katodový odpor elektronky je rozdělen do dvou větví, které lze překlenout kmitočtově závislými členy. Jsou-li oba potenciometry nastaveny na hod-



Obr. II-13.



Obr. II-14.

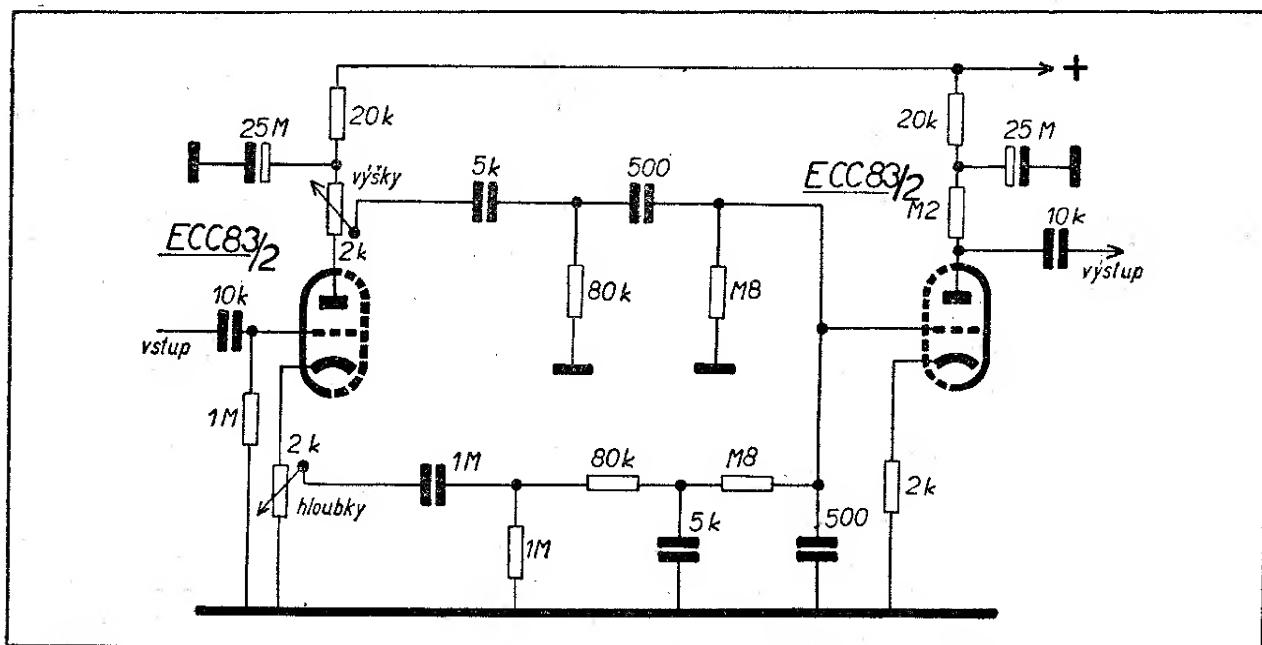
notu „minus“, uplatňuje se celková hodnota odporu $R_1 C_1$ a P_1 jako negativní zpětná vazba, potlačující celé pásmo. Posunutím potenciometru do jiné polohy omezuje se zpětná vazba kondensátorem C_1 při vysokých kmitočtech a seriovou resonancí $C_2 L$ při nízkých kmitočtech. Nevýhodou tohoto celkem jednoduchého zařízení je právě použití tlumivky L , jejíž poměrně vysoká indukč-

nost (kolem 10 H) nám působí mnoho nesnází svou citlivostí na rozptylová magnetická pole. Mnohem výhodnější je použití $R-C$ členů, obdobných korekcím, uvedeným v předešlých odstavcích.

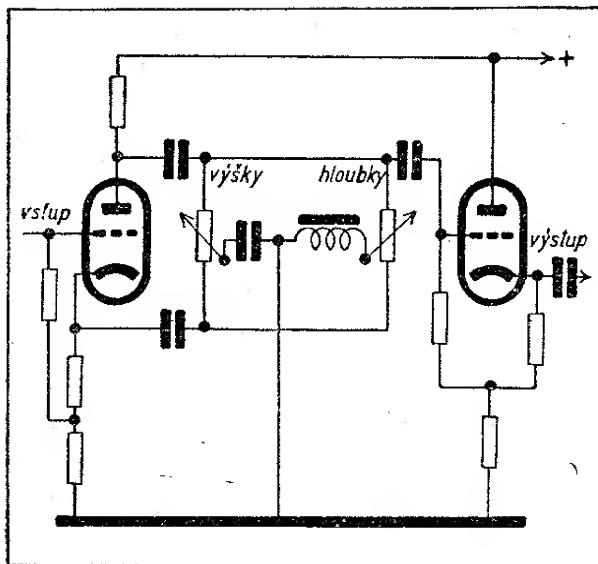
Nebudeme rozvádět jednotlivě regulaci výšek a hloubek a seznámíme se přímo s kombinovaným provedením (obr. II-13). Je to typický příklad využití zpětnovazebního obvodu pro regulaci zvuku, označovaný jako vysoko kvalitní.

Výhoda tohoto zapojení spočívá v tom, že neměníme pouze stupeň potlačení nebo zdůraznění, ale že se posouvá zároveň i kmitočet, od kterého potlačení nebo zdůraznění začíná a to tak, že sklon křivky zůstává přibližně stejný (asi 6 dB na oktavu). Viz obr. II-14.

Korektory tohoto typu vyžadují připojení na zdroj o nízké impedanci, nejlépe na katodový sledovač nebo na elektronku s malým vnitřním odporem. Největší použitelná impedance, uváděná v pramenech, je $15 \text{ k}\Omega$. Uvedený korektor má zesílení přibližně rovné 1. Vlastnost, která řadí tento korektor mezi nejlepší, spočívá v tom, že se zeslabení kmitočtů dosahuje zaváděním zpětné vazby a nikoliv děličem jako u jiných druhů. Tím se podstatně zlepšují poměry jak co do skreslení tak i sumu. Tyto korektory však vyžadují dobrou filtrace anodového napětí.



Obr. II-15.



Obr. II-16.

Korektory s otáčením fáze

Třetí skupina regulátorů zvuku využívá možnosti scítání napětí s opačnou fází. Nf napětí, přivedené na mřížku elektronky, se po zesílení odebírá jak z anody tak z katody, ale s opačnou fází. Přivádí-li se toto napětí do dvou propustí (vysokotónové a nízkotónové) přes potenciometry, lze měnit v širokém rozmezí výsledný průběh na mřížce druhé elektronky (obr. II-15).

Jiný příklad regulace otáčením fáze je na obr. II-16. Zde je použita seriová rezonance C-L. Regulace takto dosažená převyšuje o něco hodnoty podle II.- 11.

Uvedené příklady zvukových regulátorů lze i dodatečně zapojit do přijimače i do zesilovače. Na celkovém zisku celého řetězu se prakticky nic nemění, protože uvedené korektory, včetně použitých elektronek, mají vesměs zesílení kolem jedné.

Výkonové zesilovače

V úvodních odstavcích jsme poznali požadavky, kladené na celé zařízení pro vysokou reprodukci. Výkonový zesilovač jako součást tohoto řetězu musí pochopitelně témto požadavkům vyhovět. Zopakujeme si hlavní ukazovatele pro stanovení kvality zesilovače. Zesilovač pro vysokou reprodukci musí mít především zanedbatelné tvarové skreslení, které má za následek jednak vznik interferenčních tónů vlivem inter-

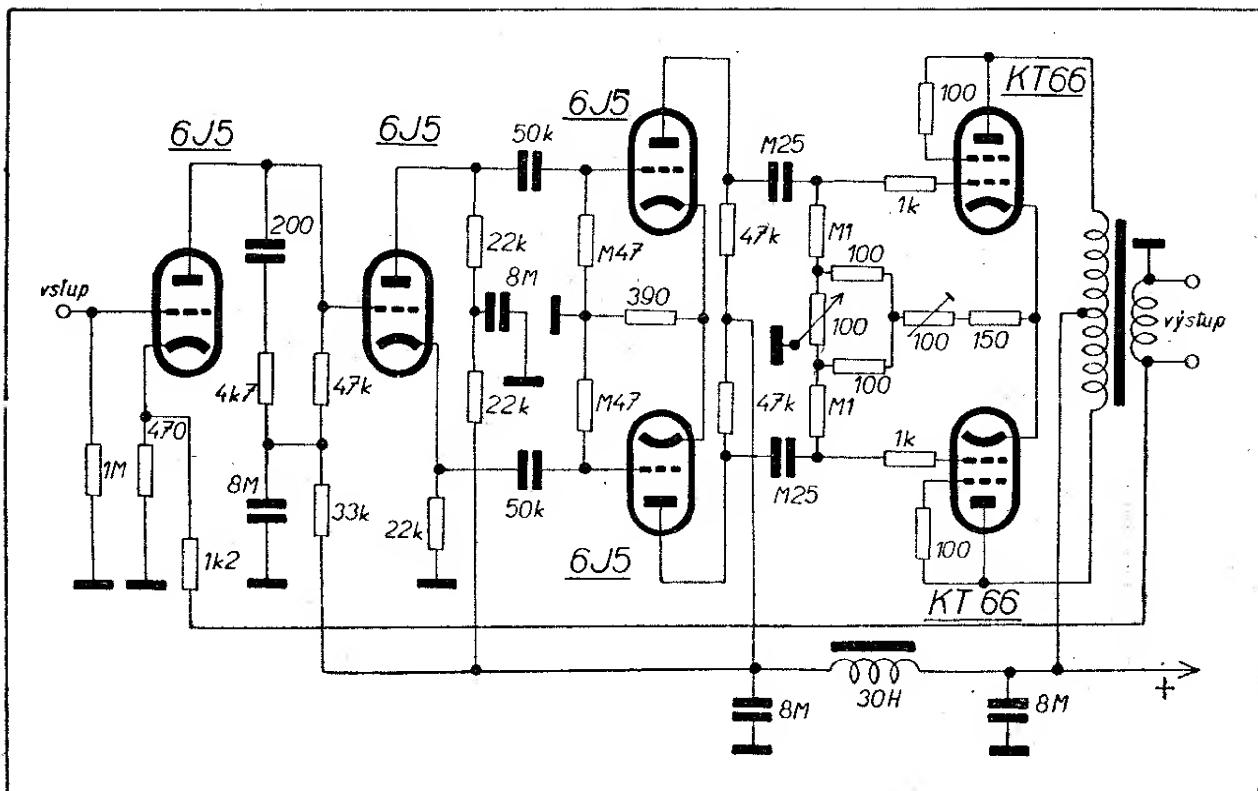
modulace. Kmitočtová charakteristika musí být lineární s dostatečnou reservou. To znamená, že se budeme snažit vyrobit zesilovač se širším rozsahem než pásmo, které bude prakticky přenášet. Souvisí to se zkušeností, že potlačování kmitočtů na obou koncích rozsahu je způsobováno převážně vlivy, které současně způsobují jiné nepříjemnosti. Na straně nejnižších tónů je to nebezpečí tvarového skreslení vlivem velkých amplitud a na straně vysokých kmitočtů jsou to fázové posuvy, vedoucí k nestabilitě zařízení. Proto se nezřídka setkáváme s rozsahem zesilovače v mezích od 10 Hz (i méně) do 100 kHz (i více).

Lineární kmitočtový průběh požadujeme pochopitelně při plném výkonu. – Fázové skreslení působí mnohdy hodně starostí, a to především svými důsledky (jednak skresleným přenášením přechodových jevů, nakmitáváním nebo dokonce kmitáním zesilovače). – Dále požadujeme od zesilovače minimální skreslení dynamiky, t. j. minimální změnu zisku v závislosti na velikosti signálu. Zesilovač musí mít co největší odstup užitečného signálu od rušivých zvuků (šum, brum, mikrofoničnost). Pro dobré tlumení reproduktorů je žádoucí co nejnižší vnitřní odpor zesilovače.

Proč jsme o těchto požadavcích nemluvili u vstupních zesilovačů? Poněvadž dosažení těchto vlastností v uspořejivé míře je právě u výkonových zesilovačů nesnadným problémem. Jsou to hlavně obvody koncového stupně, jejichž řešení je velmi choulostivé. Hlavním problémem kvality klasického push-pullového zesilovače je kvalita výstupního transformátoru. V té spočívá úspěch celého zesilovače.

„Williamson“

Jedním z nejnájemších typů zesilovače pro vysokou reprodukci, který můžeme dnes pojmenovat jako klasický, je zesilovač Williamsonův. Podíváme-li se na jeho zapojení, opravdu se nám na něm nebude zdát nic zvláštního (obr. III-1). Vstupní elektronka je přímo vázána s následujícím t. zv. katodinem. Protože má katoda této druhé elektronky značný kladný potencionál, je možné při vhodné úpravě hodnot vypus-



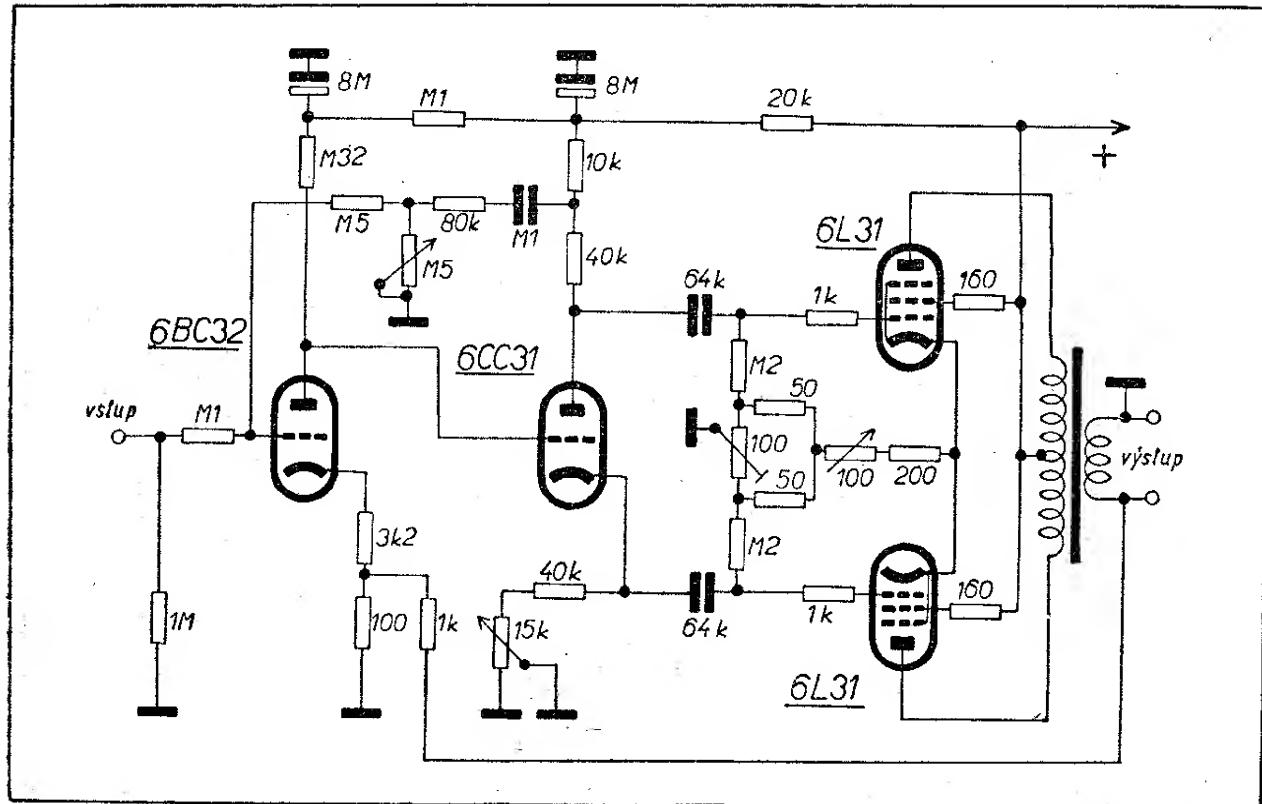
Obr. III-1.

tit vazební kondensátor mezi prvním a druhým stupněm a tak se zbavit alespoň jednoho člena, způsobujícího fázové posuvy při nízkých kmitočtech. Katodyn vytváří dva souměrné signály s opačnou fazí pro souměrný předzesilovač.

Koncové tetrody jsou v triodovém zapojení. Negativní zpětná vazba je přiváděna ze sekundáru výstupního transformátoru až na katodu vstupní elektronky. Nejnáročnější částí tohoto na pohled jednoduchého zesilovače je výstupní transformátor. Primární impedance (při zatížení) má být $10\text{ k}\Omega$. Indukčnost na prázdnou má být nejméně 100 H . Celková rozptylová indukčnost nemá přesahovat hodnotu 30 mH . Vinutí je provedeno na dvou cívkách a je prokládáno tak, že mezi pěti sekczemi primáru jsou čtyři sekce sekundáru. Každá sekce primáru obsahuje $440\text{ z. drátu o } \varnothing 0,3\text{ mm}$, t. j. primár má celkem 2×2200 závitů. Sekundár je ve čtyřech sekcích v každé cívce po 58 závitech drátu o $\varnothing 1\text{ mm}$, tedy celkem 464 závity. Sekce sekundáru je ovšem možno různě spojovat podle impedance reproduktoru. Transformátor má jádro o průřezu $38 \times 45\text{ mm}$.

Kombinacemi zpětných vazeb a obměnami v zapojení byla vytvořena řada návrhů na jakostní výkonové zesilovače. Zajímavou a také výhodnou je kombinace záporné zpětné vazby s kladnou vazbou. Příklad takového zapojení je na obr. III-2.

Záporná zpětná vazba je vedena ze sekundáru výstupního transformátoru na katody vstupní elektronky. Kladná zpětná vazba je přiváděna z děliče druhého stupně zesilovače na mřížku vstupní elektronky. – Touto kombinací je dosaženo všech požadovaných hodnot zesilovače, jehož výstupní impedance má při tom nulovou hodnotu. Použitím kladné vazby byla také podstatně zlepšena hospodárnost zesilovače, t. j. lepší využití koncových elektronek. Výstupní transformátor je i u tohoto zapojení zesilovače velmi choulostivou součástí, poněvadž jeho vlastnosti jsou rozhodující pro správnou činnost celého zesilovače. Pro uváděný návrh bylo použito transformátoru s průřezem jádra $30 \times 23\text{ mm}$. Vinutí bylo prokládané tímto způsobem: Celkem čtyři sekce primáru po 1080 závitech z drátu o $\varnothing 0,18\text{ mm}$

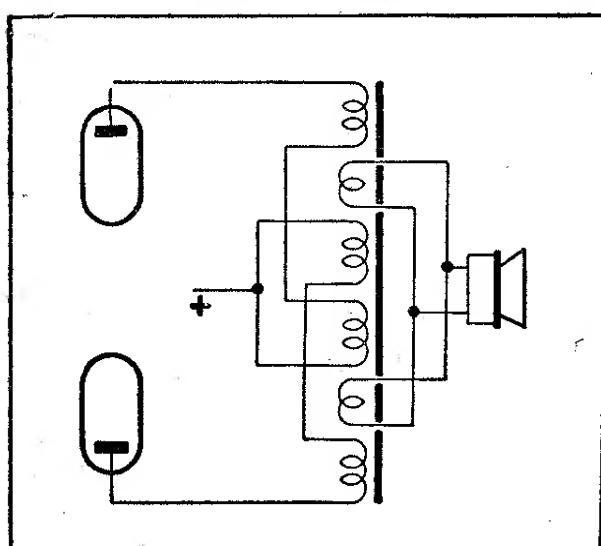


Obr. III-2.

a dvě sekce sekundáru po 96 závitech z drátu o $\varnothing 0,7\text{mm}$ jsou navinuty válcově v tomto pořadí:

1. jedna sekce primáru;
2. jedna sekce sekundáru;
3. dvě sekce primáru;
4. jedna sekce sekundáru;
5. jedna sekce primáru.

Vinutí je zapojeno podle obr. III-3.

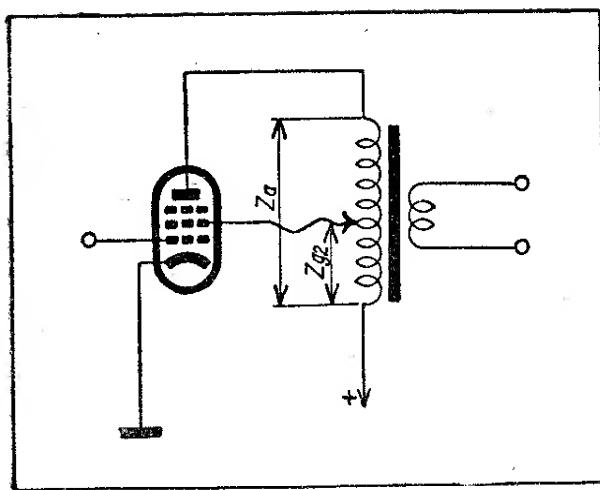


Obr. III-3.

„Ultralineární“

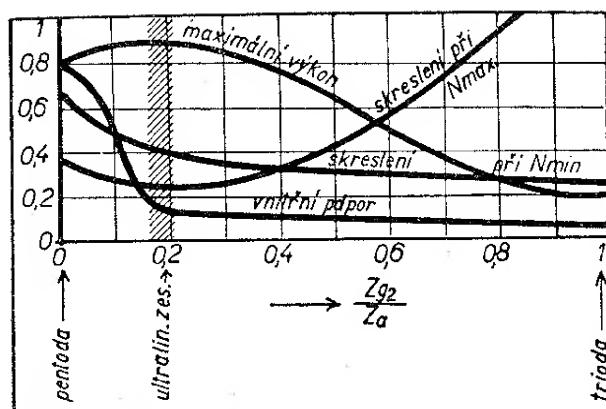
Konstruktérům zesilovačů leží na srdci nejen kvalita přístroje, ale také jeho hospodárnost. Williamsonův zesilovač jsme označili jako klasický vzor kvality. Koncové elektronky jsou však využity pouze na 25 %. Proto byl hledán způsob, jak zvětšit účinnost koncového stupně při zachování ostatních výhodných vlastností souměrného triodového stupně, pracujícího v třídě A. Vtipným a jednoduchým řešením je zavedení záporné zpětné vazby do stínicí mřížky koncové tetrody (pentody). Zapojení bylo nazváno „ultralineární“. Vlastnosti tohoto zesilovače jsou tak mimořádné, že je správné, abychom se s principem seznámili podrobněji.

Ultralineární zapojení spočívá v tom, že stínicí mřížka koncových elektronek nejsou zapojeny ani k anodám ani na pevné anodové napětí. To znamená, že nepracují ani jako triody ani jako pentody (tetrody). Víme dobré, že vlastnosti obou zapojení koncové elektronky se značně liší. Vysoký vnitřní odpor pentody je protikladem nízkého vnitřního



Obr. III-4.

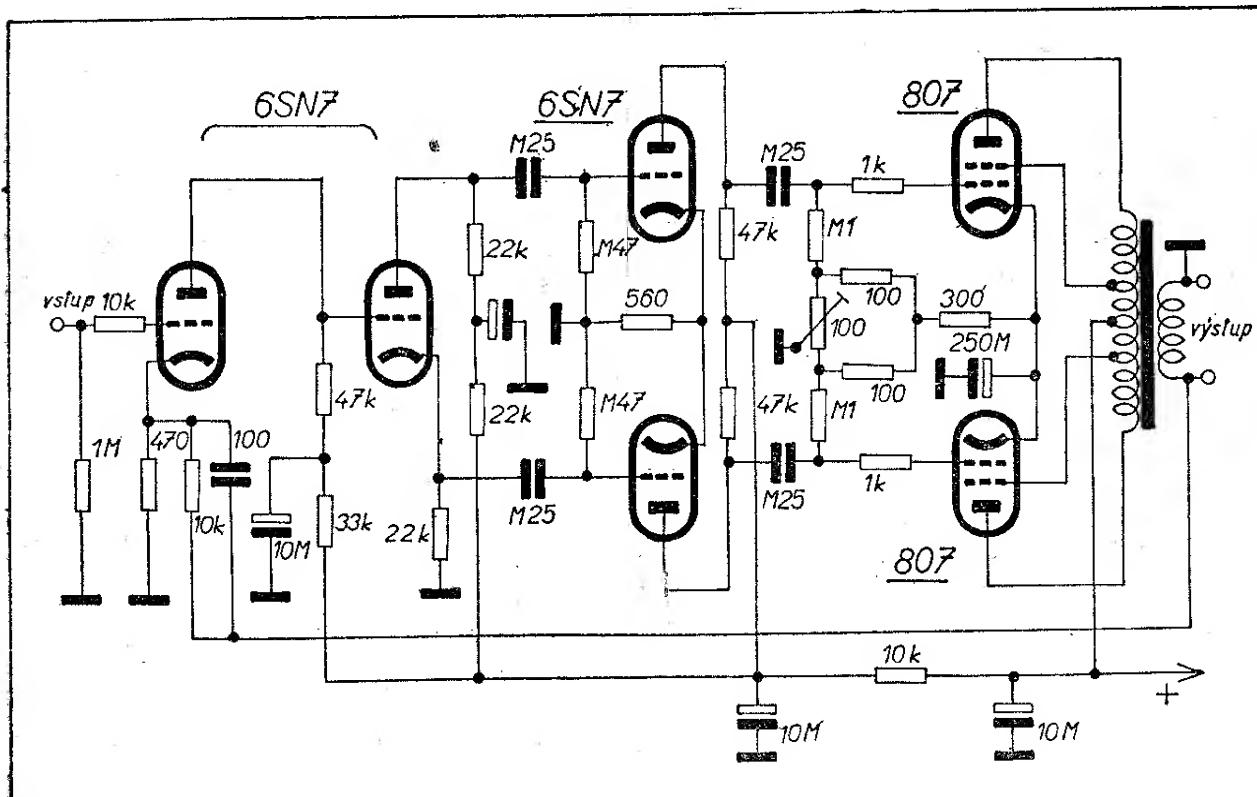
odporu triody. Anodová impedance pro optimální přizpůsobení pentody je asi desetinou vnitřního odporu a u triody dvoj- až trojnásobkem vnitřního odporu. Skreslení pentodou obsahuje převážně třetí harmonickou a skreslení triodou převážně druhou harmonickou. Zisk pentody je větší než zisk triody. Považujeme-li triodové a pentodové zapojení za krajní možnosti, napadá nás otázka, jaké vlastnosti může mít zesilovač, bu-



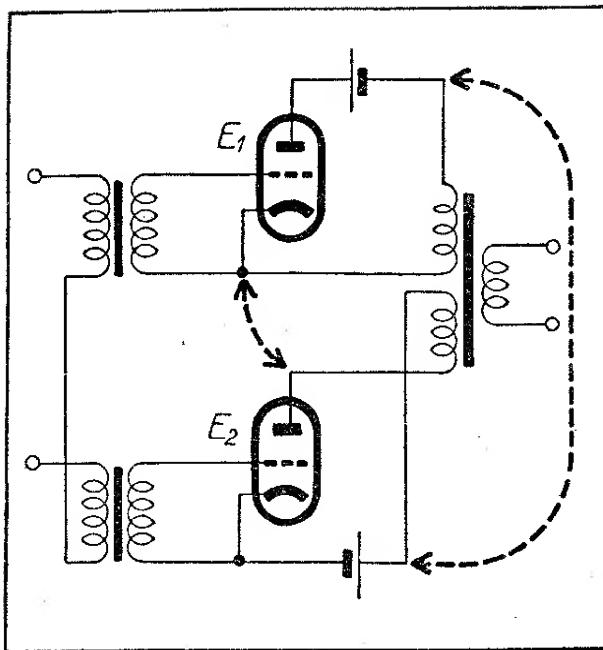
Obr. III-5.

deme-li stínici mřížku posunovat po odbočkách na primáru výstupního transformátoru (obr. III-4).

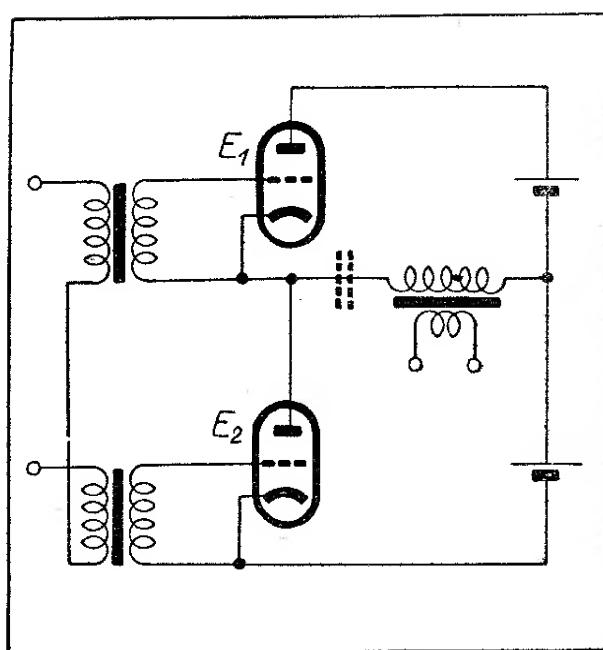
Provedeme si s takovým zapojením některé pokusy a zachytíme je do diagramu, na jehož vodorovné osu naneseme poměr anodové impedance k impedanci, připojené ke stínici mřížce, a na svislou osu budeme nanášet naměřené údaje (obr. III-5). Obrázek nám jasně ukáže, že je možno nalézt poměr, při kterém jsou vlastnosti nejpříznivější, a to lepší než při pentodovém i triodovém



Obr. III-6.



Obr. III-7.



Obr. III-8.

zapojení. Budeme-li zkoumat různé elektronky, přijdeme k závěru, že při odbočce mezi 15 až 25 % (měřeno v poměru impedance, nikoliv v poměru závitů) dosáhneme vždy hledané vlastnosti.

Skutečné provedení zesilovače s ultra-lineárním koncovým stupněm je na schématu III-6. V podstatě je to nám již známý Williamsonův zesilovač, vyžadující přesné odpory a vysoce kvalitní výstupní transformátor. Liší se především v zapojení stínicích mřížek koncového stupně (Williamson má tetrody v triodovém zapojení). Odbočky na primáru transformátoru jsou na 43 % závitů (18,5 % impedance). Zesilovač má kmitočtový průběh lineární v pásmu od 2 (slovy: dvou) do 200 000 Hz při výkonu 24 W a intermodulačním skreslení do 2 %. Při 13 W dosahuje skreslení pouze 0,3 %.

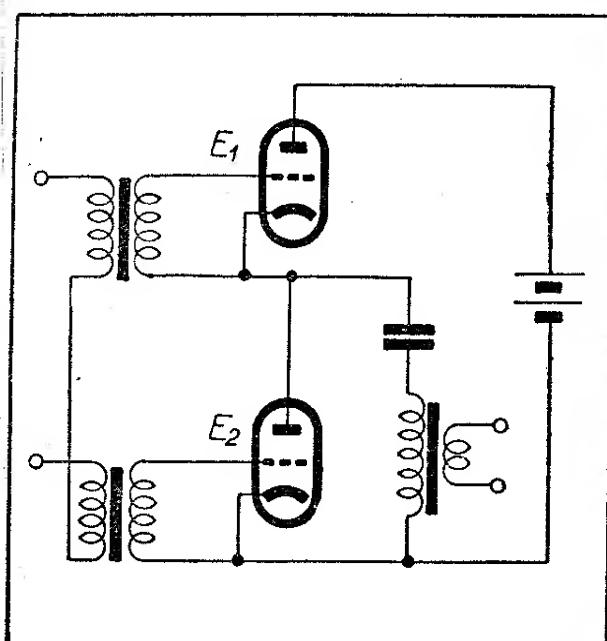
Toto provedení zesilovače, stejně jako obě předchozí, jsou pro amatérské zhodovení dostupná pouze za předpokladu dokonalého provedení výstupního transformátoru. Kromě toho jsou uvedená souměrná zapojení citlivá na shodnost obou elektronek, kterou často získáme jen nákladným výběrem.

„Jednopólový souměrný“

Uvedené nevýhody lze odstranit t. zv. jednopólovým souměrným zesilovačem. V tomto zapojení lze za určitých okol-

ností výstupní transformátor vypustit. Funkci takového zapojení si můžeme dobře vysvětlit odvozením od zapojení souměrného zesilovače, který je možno nakreslit podle obrázku III-7. Zapojení je funkčně totožné se zapojením souměrného zesilovače. Rozdíl je pouze v tom, že každá elektronka má svůj anodový zdroj.

V tomto zapojení můžeme bez jakéhokoliv vlivu spojit katodu elektro-



Obr. III-9.

tronky E1 s anodou elektronky E2. Stejně můžeme spojit záporný pól anodového zdroje elektronky E1 s kladným polem anodového zdroje elektronky E2. (Obě spojky naznačeny čárkovaně.) Aniž shledáme změnu ve funkci zapojení, objeví se nám obě sekce výstupního transformátoru paralelně zapojené a můžeme je nahradit jediným vinutím.

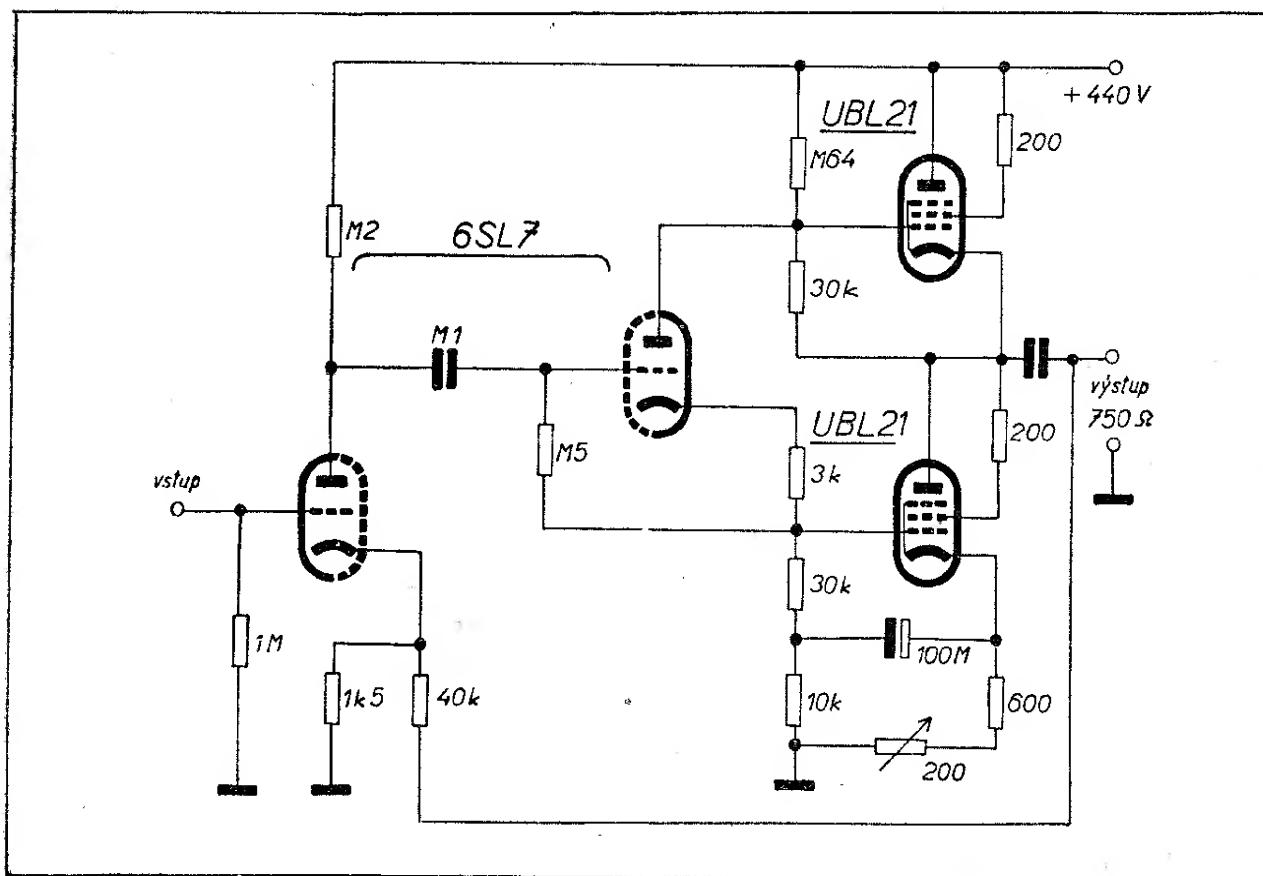
Poněvadž stejnosměrné anodové proudy obou obvodů se navzájem ruší, je možno do serie s výstupním transformátorem zapojit oddělovací kondensátor. Pak je možno i dva zdroje nahradit jedním o dvojnásobném napětí v zapojení upraveném podle obr. III-9.

Zatěžovací výstupní impedance takového zesilovače je čtvrtinová (podle elektronek 500–1000 Ω) oproti původnímu souměrnému zapojení. Nejsou-li dočasně po ruce reproduktory o impedanci několika set ohmů, je možno použít transformátoru, který však není náročný na výrobu. Transformátor netvoří zásobárnou elektrické energie, která se odevzdá obvodu při kladných půlvlnách střídavého anodového napětí, ani nesprostřed-

kovává těsnou vazbou mezi anodami elektronek, protože ta je vytvořena přímo seriovým zapojením. Případné rozptylové indukčnosti nezpůsobují zakmitávání a vzrůst skreslení u vysokých kmitočtů.

Transformátor se navrhuje pouze s hlediska nejvyššího napětí a nejnižšího přenášeného kmitočtu. Má jediné primární vinutí a může být s výhodou proveden jako autotransformátor. – Jedinou nevýhodou zesilovače tohoto typu je nutnost dvojnásobného anodového napětí, která je ale vyvážena tím, že obě elektronky mají vždy stejný anodový proud a vyrovnávají se tak jejich rozdíly.

Praktické provedení jednopólového souměrného zesilovače je patrné na příkladu v obr. III-10. Jeho výstupní zatěžovací odpor je 750 Ω . Je schopen při rozsahu 6–200 000 Hz dodat výkon 3 W při skreslení pod 0,5 %. Vnitřní odpor zesilovače je asi 20 Ω , t. j. 2,5 % zatěžovací impedance. Vyžaduje velmi dobře vyhlazené anodové napětí (max. 5 mV střídavé složky) a samostatná žhavicí vinutí pro koncové elektronky.



Obr. III-10.

V zesilovačích podle obr. III-10 (III-9) je dosaženo snížení zatěžovací impedance paralelním zapojením anodových obvodů obou elektronek, při čemž zůstávají stejnoměrné obvody obou elektronek v serii. Zapojení, i když se o něm mluví jako o souměrném, přece jen absolutně souměrným není a již v tomto směru bylo překonáno celkově vtipnějším, i když v zásadě obdobným řešením.

„PPP“

Použitím samostatných anodových zdrojů získáme z původního dvojitého zapojení nové, funkčně totožné uspořádání (obr. III-11). Pokusme se zapojit obě primární vinutí výstupního transformátoru paralelně (naznačeno čárkováně). Splynutím obou primářů dostaneme zapojení podle III-12. A to je základ zesilovače, který je označován zkratkou PPP (push-pull-parallel) a který dnes pokládáme za nejlepší řešení. Je samozřejmé, že toto základní schema může být rozvinuto dalšími prvky, které nejrůznějším způsobem ještě doplňují přednosti tohoto řešení, po případě různých obměnách splňují podmínky pro patentovou čistotu, nutnou pro průmyslové zpracování. – Zesilovače tohoto provedení předčí dosud popisované a to nejen kvalitou, ale i snadnějším zhotovením (a to nás amatéry především za-

jímá) bez záludných těžkostí. Příkladem toho je zapojení zesilovače, připravovaného národním podnikem Gramofonové závody. Schema je podrobně vysvětleno ve Sdělovací technice č. 6/1957.

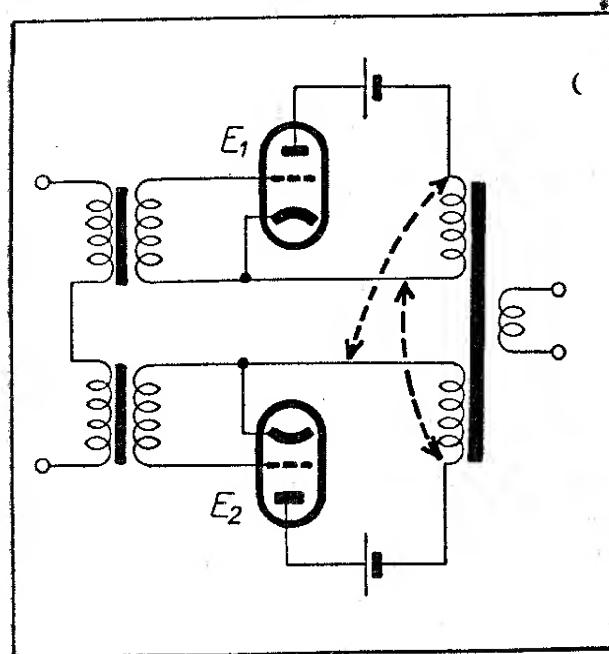
Tento druh zesilovače s některými obměnami volíme také pro naši realisaci.

Kombinace a doplňky zesilovacího řetězu

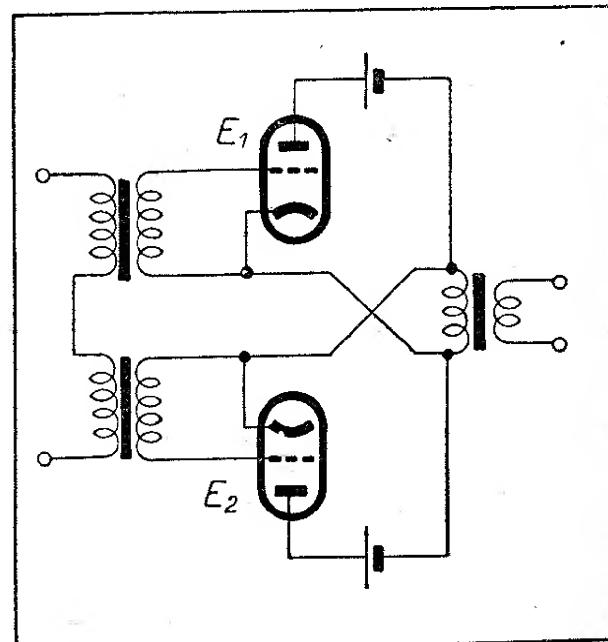
V předešlých statích jsme poznali celou řadu článků, ze kterých je sestaven zesilovací řetěz. Kromě výkonového zesilovače a korekční jednotky dotkli jsme se malou poznámkou vstupních zesilovačů. Na uvedeném příkladu vstupního voliče si musíme povšimnout údajů v napěťové úrovni nf zdrojů. Pro mikrofon je počítáno s úrovní 2 mV a na vstupu pro přijímač 500 mV. Děliče u jednotlivých poloh mají vyrovnávat úroveň, takže na vstupu zesilovače bude průměrná úroveň také kolem 2 mV.

Většina výkonových zesilovačů, jejichž příklady jsme poznali, má vstupní citlivost 500 až 1000 mV. Poněvadž nemůžeme počítat se zesílením ani u korekčních jednotek, bude nutno volit zisk vstupního zesilovače alespoň 1:500.

Tato kombinace však není nejvybranější, a to především proto, protože pro všechny druhy přenosu musíme pracovat s plným zesílením vstupního zesilo-



Obr. III-11.



Obr. III-12.

vače, které přináší zhoršení šumových poměrů, je náročnější na celé provedení a konec konců není plně využité. Ochuzujeme se tak částečně o možnost lepší kvality reprodukce u ostatních kombinací přenosu, kde jsou příznivější podmínky. Musíme nutně počítat s tím, že používání mikrofonu v normálních bytových poměrech nebude nikdy odpovídat vysokým požadavkům na kvalitu. Důvodů je několik: 1. Akustika bytu se jen výjimečně může přiblížit dobré akustice studia. 2. Hlukové poměry v obytném domě velmi citelně omezují dynamiku přenosu. 3. Je málo pravděpodobné, že budeme používat kvalitního studiového mikrofonu. 4. Konec konců otázka programu vlastních nahrávek bude převážně charakteru dokumentárního než vysoce reprodukčně uměleckého.

Bude tedy daleko účelnější zaměřit se především na reprodukci z přijimače nebo ze záznamu, a pro přenos z mikrofonu použít samostatného přídavného předzesilovacího stupně. V citovaném příkladu vstupního voliče je uvedeno ještě několik dalších možností, z nichž použijeme jenom ty, pro které máme zařízení a podle toho volíme i zisk vstupního zesilovače. Budeme-li předem rozhodnuti o nutnosti všech vstupů, je výhodnější místo náročného vstupního zesilovače opatřit všechny jednotlivé zdroje (gramofon, magnetofon atp.) samostatnými předzesilovači, jejichž výstupní

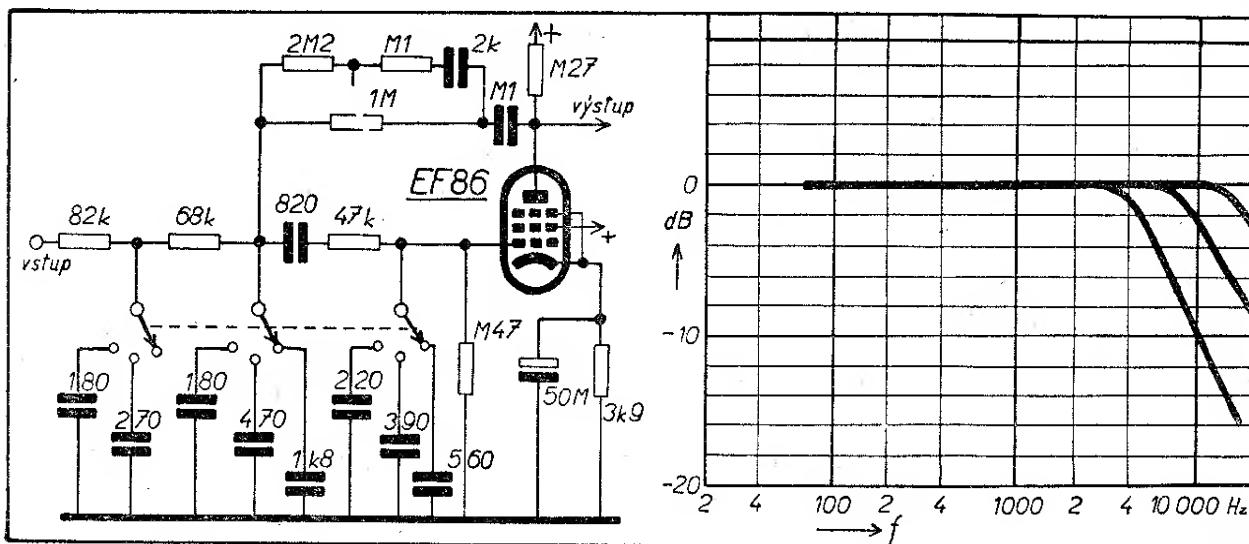
úroveň bude odpovídat vstupní úrovni korekční jednotky. V takovém případě bude i vlastní přepinač pracovat na příznivější úrovni. Spojuvací vedení nebude tak citlivé na rušivá napětí.

Některé prameny doporučují použít filtrů, odřezávajících vysoké kmitočty. Rozhodnutí pro nebo proti jejich použití záleží především na tom, co chceme reprodukovat, čili bude-li vůbec třeba takových filtrů použít. Je totiž známo, že reprodukce špatných nebo opotřebovaných záznamů na vysoce kvalitním zařízení je krajně nepřijemná, poněvadž nedostatky záznamu se objeví v plné míře. Celkem ostré odřezání při některém vysokém kmitočtu je pak přijatelnější než potlačení celé horní části spektra. Příklad takového přepínacího filtru je na obr. III-13.

Kromě odřezávání vysokých kmitočtů se často setkáváme s odřezáváním kmitů nižších než 20 Hz. Tyto zvuky nás zbaví mnohých pazvuků, které se často dostanou do záznamu nebo reprodukce. Příklad je uveden v praktickém návrhu na zařízení. Nutnost fysiologického nastavení a nedostatky v citlivosti reproduktorů si vyžadují ještě další kmitočtové korekce. I tuto si ponecháme do praktického provedení.

Reproduktoře a ozvučnice

Nedílnou částí zařízení pro vysoce věrnou reprodukci jsou reproduktory. Pro amatérskou aplikaci je otázka o to



Obr. III-13.

snadnější, že si reproduktory nemusíme sami vyrábět. V úvodních statích jsme se seznámili s reproduktorovými soustavami, používanými v rozhlasových přijimačích pro prostorovou reprodukci. Reproduktorová soustava pro vysoko věrnou reprodukci je však značně náročnější. Poznali jsme několik zapojení zesilovačů, jejichž kmitočtový rozsah byl nejméně od 30 Hz do 15 kHz. K čemu by však byl takový zesilovač bez dobré reproduktorové soustavy?

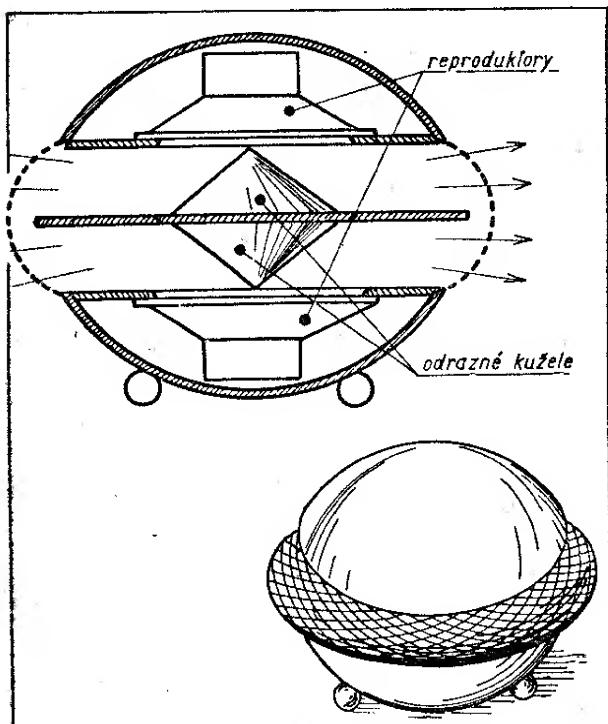
Reprodukce širokého zvukového spektra jediným reproduktorem narází na veliké obtíže. Reprodukce nízkých kmitočtů vyžaduje mimo jiné co největší rozlohy vyzařující části reproduktoru. Reprodukce vysokých tónů vyžaduje na příklad zářič s minimální hmotou. Poddajnost pohybujících se součástí a vzduchového polštáře, hmota, rozměry, tření vzduchu a další veličiny různě ovlivňují reprodukci vysokých a nízkých kmitočtů. To všechno vede k rozdělení akustického spektra na dva nebo na více reproduktorů. Budeme se tedy zajímat o reproduktory pro vysoké kmitočty t. zv. vysokotónové reproduktory. Budou to převážně reproduktory malých rozměrů. Někteří zahraniční výrobci řeší výškové reproduktory s exponen-

ciálními, někdy vícekomorovými truchty, jejichž úkolem je přizpůsobit akustický zářič reproduktoru prostoru a tím zlepšit jeho účinnost. Výškové reproduktory jsou značně směrové, a proto je důležité použít několika reproduktorů, směrovaných na všechny strany. Výškové reproduktory se někdy provádějí jako elektrostatické a někdy krytalové.

Pro střední zvukové pásmo vyhovují reproduktory o průměru od 17 do 20 cm. Oválné reproduktory mají předpoklad (pokud jsou jinak konstrukčně zdařilé) rovnoměrné reprodukce – vlivem různosti poloměrů membrány. Mimo to lépe využívají obdélníkový prostor nízkých skříněk.

Pro nízké kmitočty vyhledáváme reproduktory s velikou plochou membrány. Tato plocha se dá u jediné soupravy zvětšit použitím dvou nebo více hloubkových reproduktorů. Při zapojování zdvojených reproduktorů nebo celé kombinace musíme dbát o správné fázování, t. j. že při kladné půlvlně se musí všechny membrány pohybovat stejným směrem. Hloubkové reproduktory můžeme umístit libovolným směrem, pokud volený směr není nevhodně zakryt. Hloubkové reproduktory (reprodukce hloubek) vyžadují pro dobrou funkci různé podmínky. Pokud budou reproduktory umístěny v uzavřeném prostoru, budeme dbát, aby prostor uvnitř byl dostatečně veliký. Malý prostor má malou poddajnost a značně omezuje hluboké tóny. Budeme-li studovat odborná pojednání, setkáme se s různým uspořádáním vnitřních prostorů uzavřených ozvučnic, které jsou vlastně vkládáním dalších akustických obvodů a tlumicích odporek pro lepší vyrovnaní reprodukce. Řešení s amatérského hlediska je obtížné, protože vyžaduje jednak dobré znalosti materiálů a dále možnosti provádět akustická měření. Dobrý „recept“ je jistě vitanější než složitá theoretická řešení, která jsou bez ověřovacích měření pochybná.

V praxi se dnes provádějí reproduktorové soupravy s poměrně jednoduchými ozvučnicemi, ale nákladnějším vybavením reproduktory. Nejsou vzácností reproduktorové skříně s osmi reproduk-



Obr. III-14.

tory. Ze zkušeností nutno potvrdit, že větší počet reproduktorů značně zlepšuje kvalitu poslechu a to zejména tehdy, je-li použito několika velikostí nebo druhů reproduktorů. V takovém případě (nehledě na rozdělení pásma) různost reproduktorů značně zplošťuje různé resonanční hruby na charakteristice.

Je-li v současné době v popředí všeobecná reprodukce, nesmíme zapomenout na příklad řešení prostorového reproduktoru jako doplňku pro reprodukční soustavy. (Obr. III-14.) Je tvořen dvěma reproduktory, postavenými proti sobě tak, že zvuk je vyzařován odrazem od kuželů mezi reproduktory zcela rovnoměrně na všechny strany. Tento reproduktor nemá dobré podmínky pro přednes hlubokých tónů, ale jako středo- a vysokotónový je vhodný doplňkem. Jeho vzhled umožňuje celkem libovolné umístění třeba i na stolek mezi několik posluchačů.

Reproduktové ozvučnice jsou řešeny velmi mnoha způsoby od desky přes různé zvukovody a bassreflexy až po trychtýře v nejrůznějších variacích. Pro podrobnější poučení doporučuji příručku: Dr Aleš Boleslav: „Reproduktové a ozvučnice“, která vyšla letos v edici „Malá radiotechnická knihovna“ v SNTL.

V závěru statě o reproduktorech chtěl bych poznamenat několik slov o populárním bassreflexu a proč jsem se jím nezabýval. Bassreflex je totiž účinný jenom tehdy, jestliže se nám povede. K tomu je především nutno znát resonanční kmitočet reproduktoru a mít možnost přesně nastavit rezonanci skříně změnou plochy otvoru.

Pro všechny reproduktory a ozvučnice platí podmínka dobré montáže. Skříň i všechno, co je namontováno na skříni, musí být dostatečně tuhé a utlumené proti vlastnímu kmitání. Doporučuje se vnitřek skříně polepit tlumicím materiálem (hobra, plstěné desky, vatové polštáře atp.). I umístění reproduktoriček skříně má vliv na přednes. Umožňují-li to bytové poměry, je výhodné rohové provedení. Jinak se budeme snažit, aby rovnoběžná stěna proti reproduktoričkám byla alespoň dostatečně členěna (nábytkem, závěsem atp.).

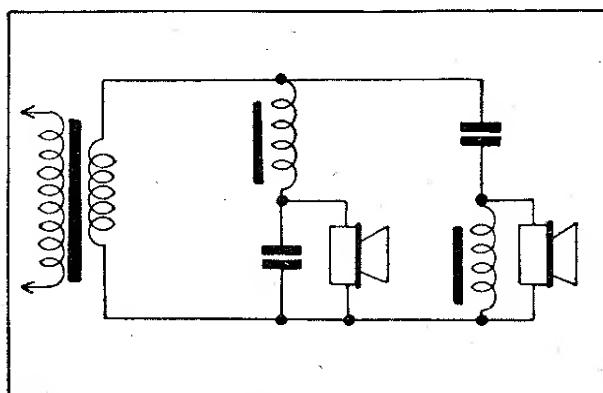
Mezi podstavec nebo nohy skříně a podlahy vložíme měkké nebo pružné podložky, aby chom zvuk nepřenášeli do podlahy a tím i do stropu nájemníka o poschodí níž.

Výhybky

V mnohých reproduktoriček soustavách se setkáváme se zařízením nazývaným elektrická výhybka. Jak již pojmenování napovídá, jde o elektrické zařízení, které odděluje z celkového nf spektra zvlášť vysoké a zvlášť hluboké kmitočty. Je to zařízení jistě účelné, poněvadž zamezuje zatěžování hloubkových reproduktoriček vysokými kmitočty, které ani tento reproduktor nemůže vyzářit, a také zamezuje zatížení výškového reproduktoru nízkými kmitočty, které tento rovněž nemůže vyzářit a mimo to by byl jinak vystaven nebezpečí poškození.

V praxi taková výhybka sestává ze dvou filtrů. Filtry jsou tvořeny tlumivkami a kondensátory. Při návahu elektrické výhybky bude nás zřejmě zajímat, při kterém kmitočtu přestává hrátl hloubková soustava a začíná hrát sestava výšková. Tomuto kmitočtu říkáme dělicí kmitočet. Filtry jsou zapojeny tak, že hloubkový propouští tóny hluboké až do dělicího kmitočtu a výšší tóny zadržuje, výškový filtr pak pracuje opačně.

Vysvětlete si nyní na příklad působení hloubkového filtru. Vidíme, že paralelně k reproduktoru je zapojen kondensátor a v sérii s tímto obvodem tlumivka. Kondensátor i indukčnost jsou kmitočtově závislé členy filtru. To znamená, že jejich zdánlivý odpór – impe-



Obr. III-15.

dance – Z_c a Z_L se se změnou kmitočtu mění. U kondensátoru impedance Z_c směrem k vyšším kmitočtům klesá, kdežto u indukčnosti impedance Z_L k vyšším kmitočtům stoupá. Tento filtr si můžeme také představit jako dělič napětí, jehož větve jsou tvořeny impedancemi Z_c a Z_L . Pro nízké kmitočty je impedance indukčnosti malá a impedance kondensátoru velká, takže dělič (filtr) takřka nezeslabuje. Pro vysoké kmitočty (rozuměno v pásmu tónových kmitočtů, t. j. 16 až 16 000 Hz) je naopak impedance indukčnosti velká a impedance kondensátoru malá, takže dělič (filtr) sestavený z těchto impedancí působí značné zeslabení. Složitější případ nastane při dělicím kmitočtu f_0 , který je shodný s resonančním kmitočtem obvodu Z_c a Z_L , kdy impedance indukčnosti se rovná impedance kondensátoru. V tomto případě bude tedy filtr zeslabovat na polovinu. Filtr výškové soustavy pracuje na stejném principu – jenž je opačně.

Amatérské zhodovení výhybky má však různá úskalí. Je to především otázka volby dělicího kmitočtu. V této části kmitočtového spektra nastávají totiž poměrně složité fázové poměry. Bude správné neumístit tento kmitočet právě do střední části spektra. Výhodnější je pokrýt střed pásmo spojitě bez výměny vyzařovacích systémů. To vede k tomu rozdělit nf pásmo na tři části, t. j. hlavnímu reproduktoru jen „pomáhat“ v nejnižších a nejvyšších polohách. Také zhodovení přiměřených tlumivek pro výhybky narází na zvládnutí jejich ohmického odporu, který musí být malým zlomkem

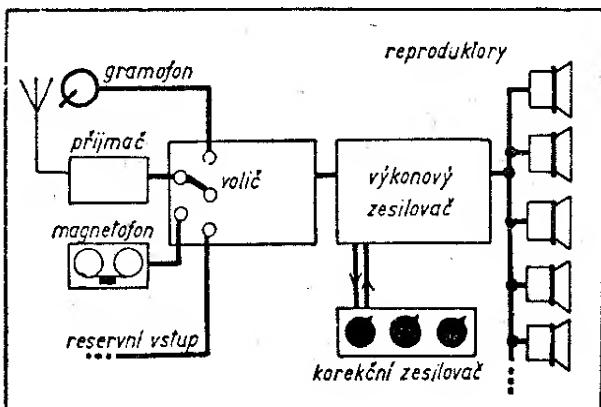
impedance reproduktoru. Pro bytový poslech, kde jde o poměrně malé výstupní výkony (většinou hluboko pod jmenovitým výkonem reproduktoru), je naprostě vyhovující a někdy i podstatně výhodnější omezit problém výhybek na použití kondensátorů, jimiž omezuje nepříjemnosti plynoucí z velkých rozkmitů reproduktorů při hloubkách. Příklad takového zapojení je použit i v další statí o praktickém provedení. (Obr. IV-16.) I v tovární praxi je použití kombinovaných výhybek na ústupu, svýjimkou mamutích reproduktorových souprav, na příklad pro kina.

DRUHÁ ČÁST

Praktické provedení

Úkolem první části tohoto pojednání bylo stručně objasnit některé podmínky vysoce věrné reprodukce. Do daného počtu stran nelze však vtěsnat úplný rozbor tak širokých problémů a proto byla zvolena metoda, uvádějící co nejvíce praktických příkladů. – Pro podrobnější studium poslouží další prameny, ze kterých jsou mnohé snadno dostupné.

Přistupme nyní k praktickému popisu zařízení. Snahou bylo přinést nejdostupnější řešení a při tom nejmodernější. Vcelku byla volena koncepce, umožňující individuální přizpůsobení podle osobitých podmínek. V blokovém schématu (obr. IV-1) je počítáno s reprodukcí gramofonových desek, reprodukcí rozhlasu (z přijimače) a dalšími dvěma možnostmi (na příklad magnetofon a rozhlas po drátě). Volič programu přepíná vstup při úrovni 0,5 V. To znamená, že pro připojení gramofonu je nutno použít předzesilovače, který je mimo to odůvodněn potřebou přepínat kmitočtový průběh podle druhu přehrávaných desek. Tato možnost je zahrnuta do funkce gramofonového předzesilovače. Jako výkonový zesilovač je použito zapojení označované PPP. Zesilovač je namontoval do skříně s reproduktory. Ovládací jednotka, obsahující korekční zesilovač a regulátor hlasitosti, je umístěna v samostatném pouzdře a napojena na 5 m dlouhý kabel. Volič programu je umís-



Obr. IV-1.

těn do prostoru, kde jsou centralisovány reprodukční přístroje (gramofon, magnetofon, přijimač). Reproduktorová soustava je složená ze sedmi reproduktorů a přizpůsobena pro vše směrovou reprodukci.

Výkonový zesilovač

Seznámíme se nejdříve se zapojením a provedením výkonového zesilovače, kterým zahájíme také stavbu. Jeho zapojení se odchyluje od řady zvyklostí, které jsou u jiných zapojení zcela samozřejmé a o kterých nebyla v stručných odstavcích řeč. Především si všimneme toho, že žádný z anodových zdrojů není spojen s kostrou přístroje. Proto na spojích, které u jiných zesilovačů jsou bez napětí (t. zv. studené), naměříme několik napětí. To předpokládá pozornost při zapojování. (Obr. IV-2 – druhá strana obálky.)

Výstupní napětí je odebráno z katod obou koncových elektronek. Tyto elektronky pracují jako katodové sledovače s mohutnou zápornou zpětnou vazbou. To znamená, že bychom k jejich vybuzení kromě normálního řídicího napětí potřebovali ještě napětí, dané polovinou výstupního napětí (pro jednu elektronku). To je ovšem příliš velký požadavek na budicí elektronku. Podíváme-li se ale pozorně na naše zapojení, zjistíme, že anodový obvod budicí elektronky je napájen z anodového zdroje protilehlé koncové elektronky. Tak vzniká stejně veliká kladná vazba, která nám vrací napětí, které se vlivem negativní vazby katodového sledovače nedostává. Takto si navzájem pomáhají oba protilehlé obvody. Zesilovač je při tom absolutně stabilní přes obavy, které každému způsobí slůvko *kladná zpětná vazba*. Budicí stupeň pracuje celkem v normálním běžném zapojení, kde řídicí systém dvojitě elektronky pracuje se společným katodovým odporem s druhým systémem, který je tímto buzen s opačnou fází. Tento druhý systém pracuje jako zesilovač s uzemněnou mřížkou. Poněvadž se u zesilovače s uzemněnou mřížkou přičítá budicí napětí (v katodě) k výstupnímu napětí, musíme v zájmu symetrie pozměnit vzájemný poměr zisku obou systémů. Proto je odpor v anodě hoře-

ního systému $200 \text{ k}\Omega$ a v dolním $220 \text{ k}\Omega$. Současně je nutno doporučit vyhledání hodnot s přesností alespoň 1 %.

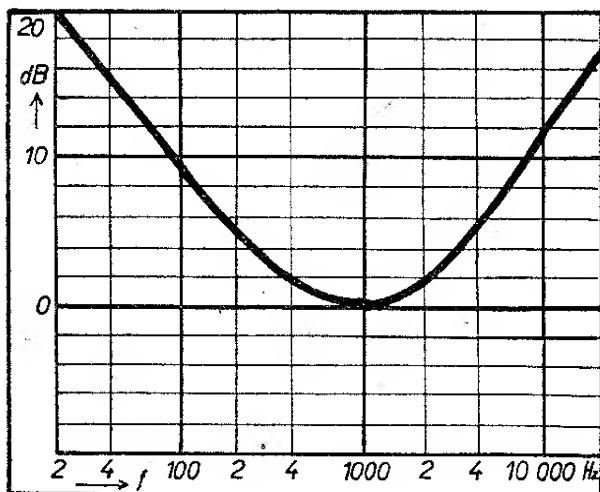
(Můžeme ovšem vyhledat dva odpory z dvěstěkiloohmových, lišících se o 10 %, na příklad: 190 a $209 \text{ k}\Omega$. Pozor, na schematech jsou oba uvedeny M2 !)

Tyto dva symetrické stupně tvoří vlastní koncovou jednotku. Před tuto je zapojen nesymetrický předzesilovač, se stávající ze dvou stupňů a osazený dvojitou triodou. Před koncovou jednotkou je zapojen stupeň s katodovým výstupem, t. j. se zesílením 1. Nízkoohmový vstup koncové jednotky zlepšuje ještě stabilitu zesilovače. První předzesilovací stupeň má zavedenou zpětnou vazbu z výstupu koncové jednotky. (Zde musíme dodržet správnou volbu použité odbočky na výstupu.)

Dva první stupně s dvojitou triodou můžeme nahradit jediným stupněm buď s jedinou triodou nebo pentodou. V kvalitě se nám neprojeví pozorovatelný rozdíl, i když jsme si řekli, že zapojení s katodovým sledovačem je stabilnější. (Obr. IV-3. na čtvrté straně obálky.)

Pro praktické provedení jsou voleny v koncovém stupni elektronky 6L31 (6AQ5, EL90), se kterými je dosaženo výkonu 9 W při kmitočtovém rozsahu od 30 Hz do $20 \text{ kHz} \pm 0,2 \text{ dB}$ a při skreslení do 0,5 %. Tento výkon je úplně dostatečný pro bytový poslech s bohatou rezervou pro reprodukci nejsilnějších modulačních špiček. Při použití modernějších elektronek EL84 nebo PL84 lze zesilovač snadno upravit pouhou změnou katodových odporů a malou úpravou negativní zpětné vazby.

Zařízení pro vysoce věrnou reprodukci má také svoje nevýhody. Jednou z nich je ta, že dobrá reprodukce nejnižších kmitočtů (mnohdy pod spodní mezí slyšitelnosti) nám odhaluje řadu nepříjemných pazvuků (chvění motoru gramofonu a různé hluky, které k programu nepatří), rušící poslech. Tomu se odporává odřezáním kmitočtů pod 20 Hz. V použitém zapojení je to jednoduše provedeno kondensátorem InF ($1 \div 5 \text{nF}$), přes který je mřížka fázového invertoru uzemněna. Čím je tento kondensátor větší, tím se hraniční odřezávání posunuje

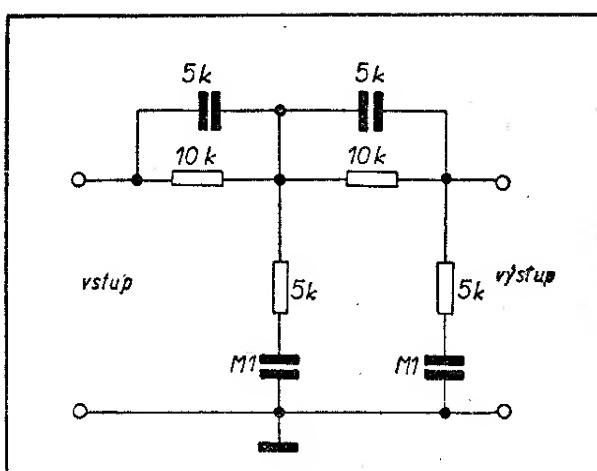


Obr. IV-4.

níže. Při velké hodnotě (na př. $1 \mu\text{F}$) je kmitočtový průběh lineární.

Druhou pevnou korekcí, kterou zavádíme přímo u zesilovače, vyrovnáváme jednak zásadní nedostatky reprodukce a jednak pomáháme fysiologickému průběhu sluchu. Je známo, že dnešní systémy reproduktorů mají klesající citlivost pod 300 Hz a nad 3000 Hz. Tato vlastnost je dána samotnými fyzikálními podmínkami pro elektroakustické měniče a záriče. Kromě toho přistupuje i podobně klesající citlivost sluchu. Bylo by celkem jednoduché oba úbytky vyrovnat korekčním zesilovačem. Proto se do moderních zařízení vkládá kmitočtový kořektor, jehož průběh je naznačen na obr. IV-4. Zapojení spojuje se trvale se vstupem do výkonového zesilovače (obr. IV-5).

V koncovém zesilovači (poslední dva stupně) jsou uzemněny všechny dva body. To vede k tomu, že musíme mnoho součástí montovat isolovaně a nemůžeme tak využít kovové kostry pro spojování. Myšlenka tištěných spojů, která ve výrobě znamená velkou racionalisaci, dala vznik nápadu nahradit tuto technologii amatérským provedením. Místo kovové kostry použijeme pertinaxové desky, do které zapustíme elektronkové objímky a elektrolyty. Proti všem zvykům umístíme všechny kondensátory a odpory na stejnou stranu desky jako elektronky a to tím, že navrtáme do desky malé otvory o $\varnothing 2$ mm. Příslušné otvory a součástky umístíme tak, že jejich spo-

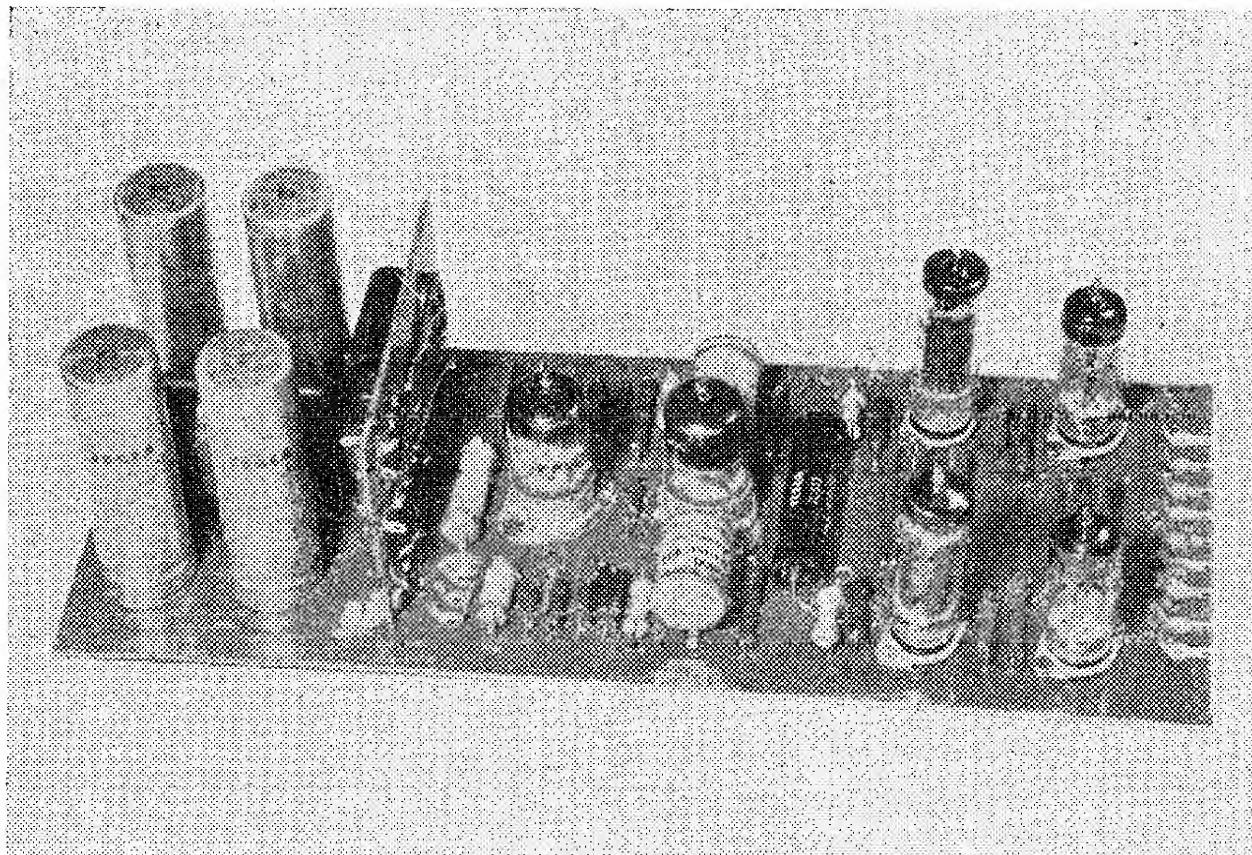


Obr. IV-5.

jení provedeme zkroucením konců vývodů nebo zavěšením na očka elektronkových objímek. Zbude nám jen docela málo spojů, které budeme muset provádět samostatně drátem. Budou to hlavně napájecí přívody (obr. IV-6, umístěném na str. 40). Celá montáž se pak najednou připájí. Vznikne podlouhlý, celkem úzký a nízký pás, který snadno umístíme do pouzdra (obr. IV-7).

V zesilovači jsou dva transformátory. Síťový transformátor je poněkud neobvyklý. Obě poloviny anodové sekce sekundáru musí být oddělené. Použijeme-li hotový transformátor (stačí 90 mA) je nutno rozplést oba střední vývody vinnutí 2×250 V (pokud je to možné). Je ovšem důležité, aby oba tyto konce měly mezi sebou dostatečnou isolaci, poněvadž se mezi nimi objeví nf napětí kolem max. 150 V. O isolaci se přesvědčíme tím, že přes žárovku připojíme na oba rozpojené konce 220 V ze sítě. Není-li záruka v odisolování jednotlivých vinutí, je lépe transformátor převinout.

Výstupní transformátor je velmi jednoduchý. Poněvadž tento zesilovač pracuje s výstupní impedancí 2500Ω , což je hodnota poměrně malá, bude i zhodovení snadné. Transformátor provedeme jako autotransformátor, čímž dosáhnete příznivějšího využití okénka. Mimo to bude rozptyl takového transformátoru velmi malý, protože vinutí samo, bez dalších kombinací, je prokládáno. Údaje a rozměry jsou tyto:



Obr. IV-7.

Jádro (rozměr plechu) 85×85 mm.

Průřez jádra 6 cm.

Počet závitů celkově 3480.

Počet závitů pro připojení reproduktoru 280.

Odbočka pro uzemnění je přesně ve středu vinutí.

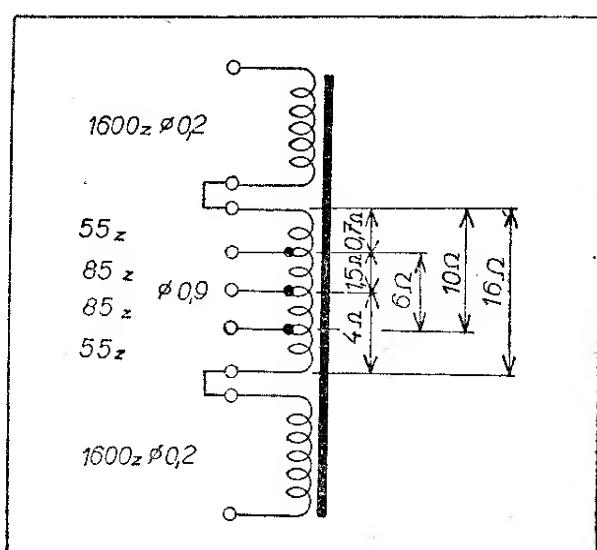
Korekční zesilovač

Korekční zesilovač provedeme do samostatné malé skřínky, která bude s reproduktorovou skříní propojena čtyřpolovým stíněným kablíkem (nebo se skřínkou s ostatními přístroji). Obsahuje jedinou elektronku (dvojitou triodu - 6CC41), korekční členy a pro obsluhu 3 potenciometry (obr. IV-9).

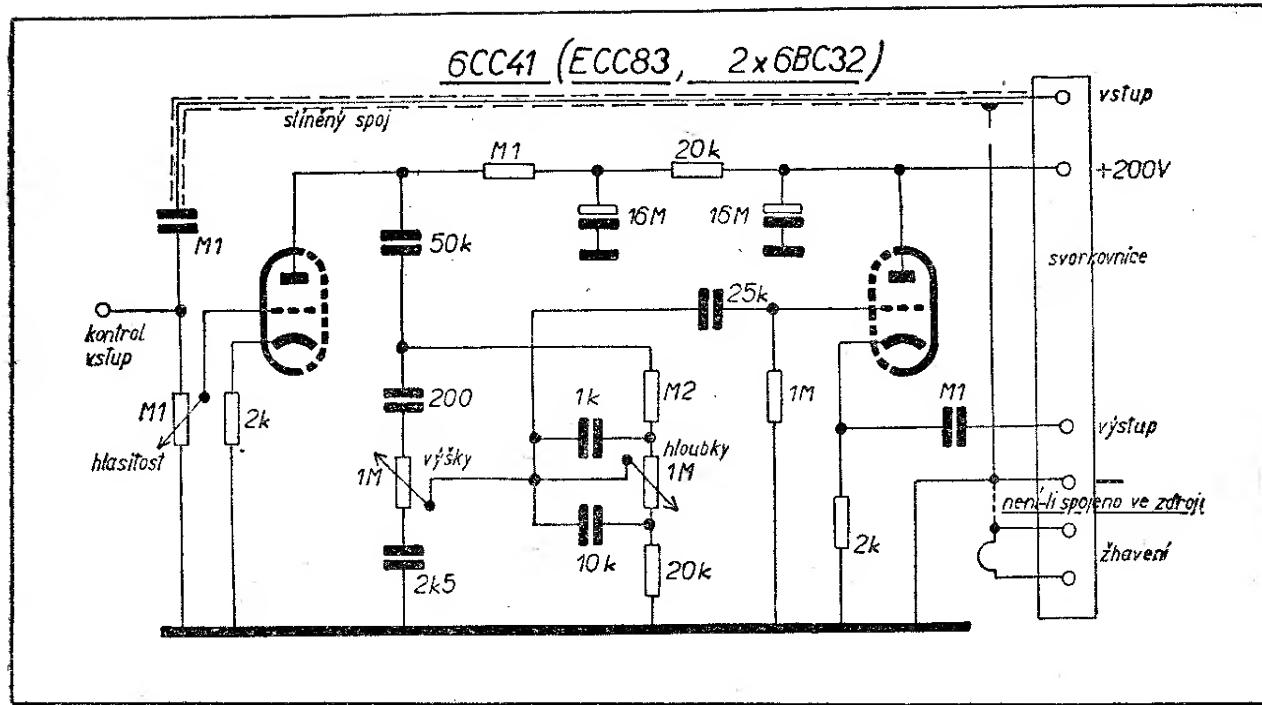
V této úpravě je korekční zesilovač určen pro dálkovou obsluhu celého zařízení. Korekční zesilovač je možno umístit kdekoliv. Vstup a výstup jsou upraveny tak, aby bylo možno použít několik metrů přívodů. Přístroj pracuje s poměrně vyšším nf napětím, takže jeho provedení není příliš choulostivé (obr. IV-10).

Reprodukторová skříň - ozvučnice

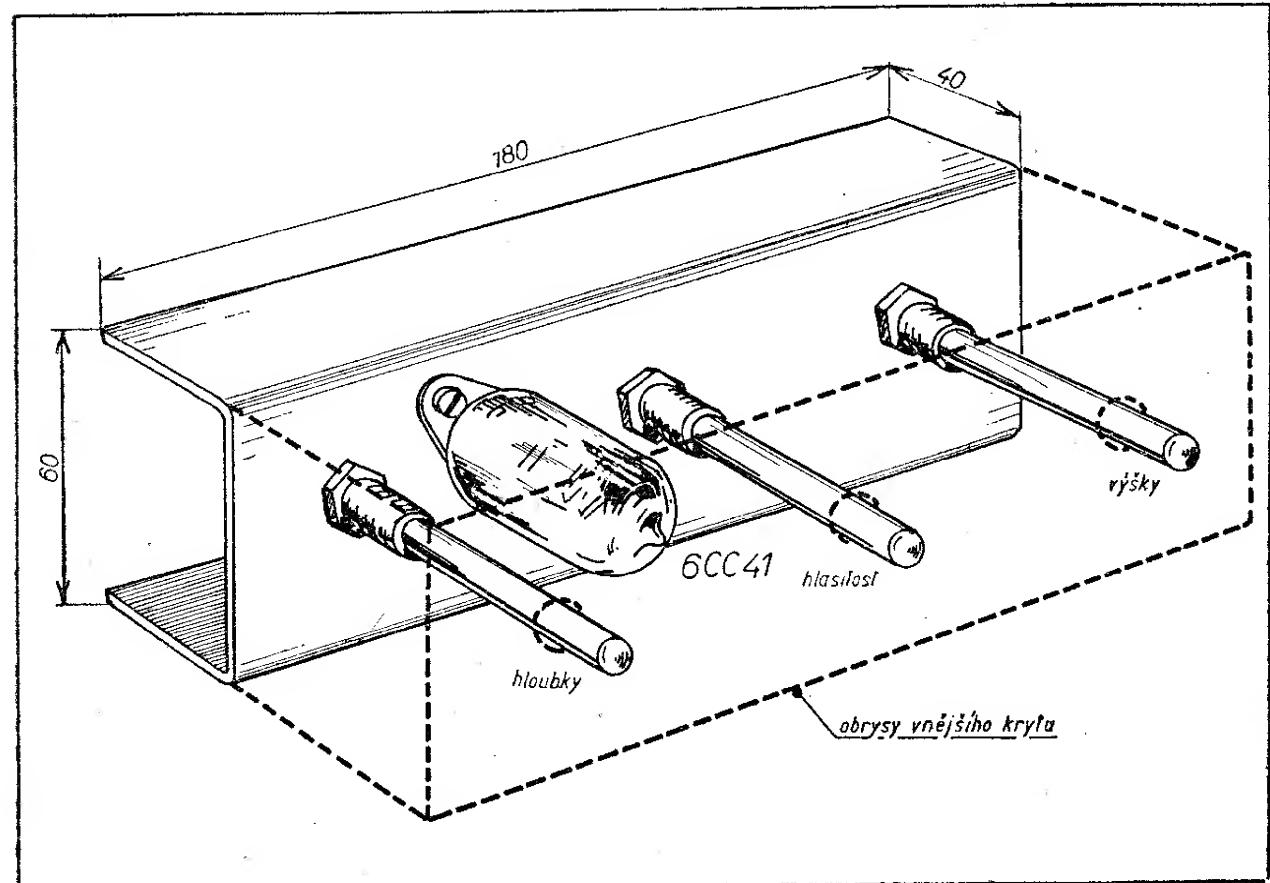
Popsané dvě jednotky jsou vlastním základem celého zařízení, ke kterému náleží reproduktová souprava. Ta vybočuje z čistě radioamatérských možností a vyžaduje truhlářské zásahy. Kaž-



Obr. IV-8.



Obr. IV-9.



Obr. IV-10.

dý nemá možnost, trpělivost nebo prostředky k zadání výroby reproduktorové skříně podle vlastních návrhů odborné dílně. Nechci nikomu doporučovat adaptování příborníků nebo skříně, i když se to tu a tam vyskytlo. Vyzkoušel jsem to s malou typisovanou skřínkou (knihovničkou, obr. IV-11) za 370,— Kčs. Její velikost není zcela ideální, ale pro danou potřebu je ji možno pokládat za vyhovující. Přizpůsobování je zcela snadné, lze je provést několika způsoby podle truhlářských možností. Přední stěnu zhotovíme z dvoucentimetrové laťovky nebo ze sklízených desek, ztužených svlaky. Zadní stěnu, která je zhotovena z tenké překližky, musíme rovněž zpevnit buď tím, že ji zesílíme dvírky, která na přední stěně odmontujeme, nebo ji těmito dvírky nahradíme. V druhém případě musíme dbát, aby dvírka dobře přiléhala. Všechny čtyři výškové reproduktory namontujeme až k hornímu okraji skřínky. Dva budou upevněny na přední straně a pro dva vyřízneme na obou bočích skříně otvory, které zakryjeme vhodnou maskou. Pro tyto reproduktory zhotovíme z osmi až desetimilimetrové překližky šikmě vaničky (obr. IV-12) skloněné o úhel $22\frac{1}{2}^\circ$ pro dosažení všeobecného vyzařování. Ostatní reproduktory umístíme podle náčrtku. Poněvadž budeme dbát na utěsnění celé skříně,

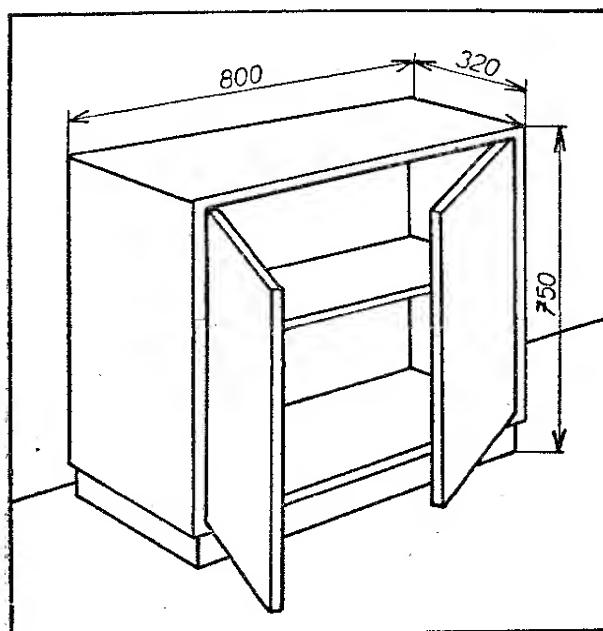
bude nutno počítat alespoň s částečným odváděním tepla ze zesilovače. Nejjednodušší způsob je vyhradit samostatný prostor pro zesilovač, který bude od ostatního vnitřního prostoru těsně oddělen, ale bude větrán ven. Vnitřní stěny skříně vyložíme tlumicím materiélem (hobrou, korkem, polštáři z technické vaty atp.).

Můžeme-li si dovolit umístit reproduktorovou skříně do rohu místnosti, získáme nejpříznivější podmínky, jaké si v obytné místnosti můžeme přát. Je ovšem nutné, aby reprodukční soustava nebyla v těsné blízkosti obložena skříněmi. V provedení skříně se držíme zásad, uvedených v předešlém odstavci. Vhodné rozměry jsou na obrázku IV-14.

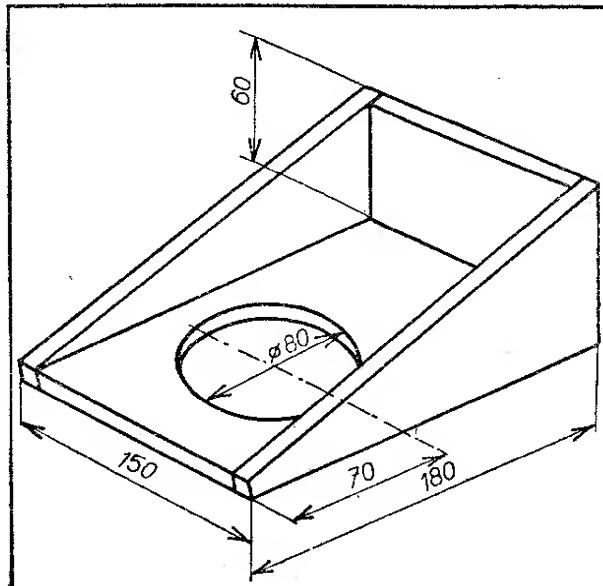
Výškové reproduktory do přední stěny namontujeme opět na šikmě vaničky a na bocích přímo na stěnu skříně.

Určitou obměnou pro místnost s nedostatkem místa je provedení rohové reproduktorové skříně podle obrázku IV-15.

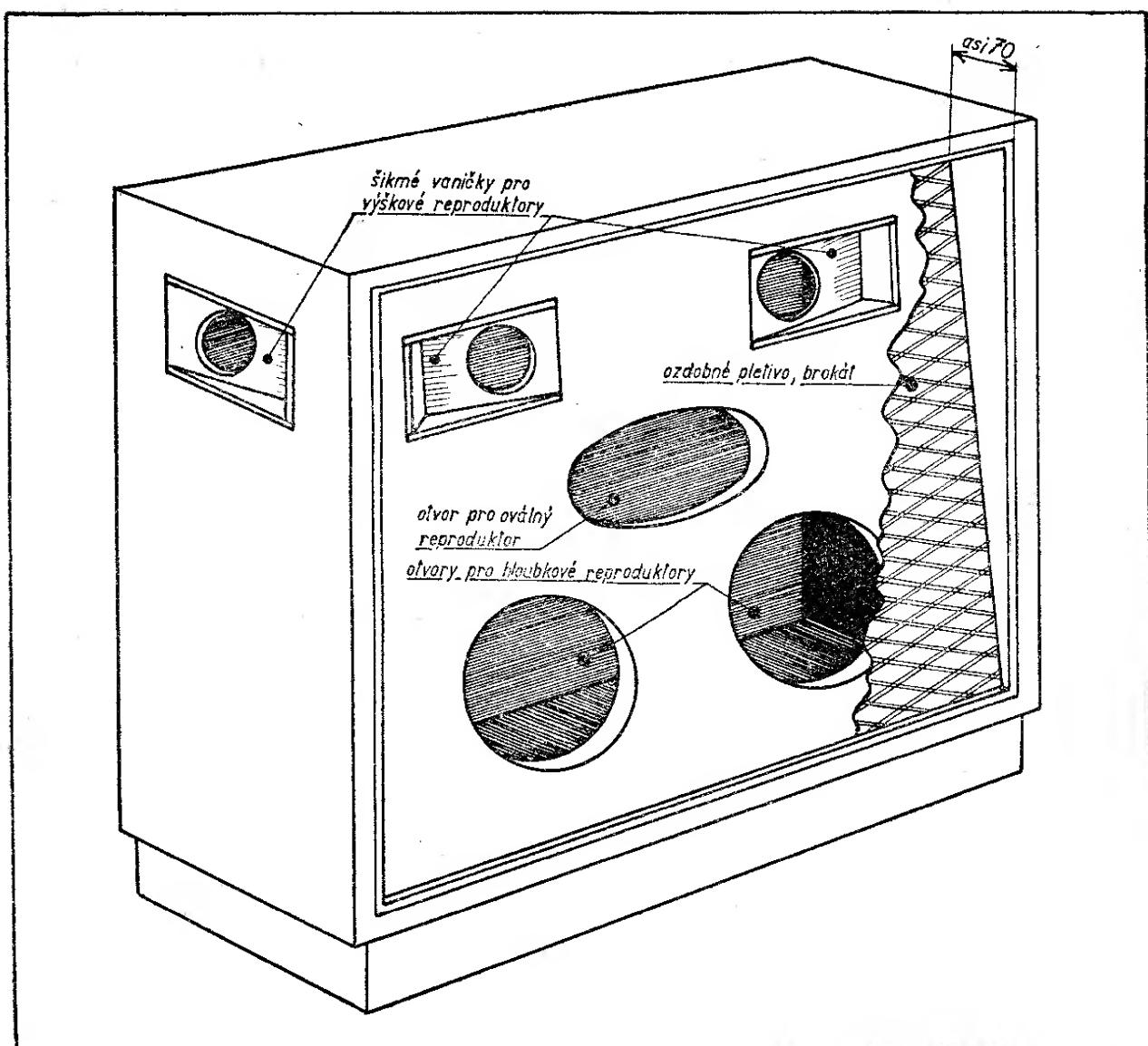
Nutný prostor, potřebný pro dobrou funkci hlubkových reproduktorů, je nahrazen výškou. Seřazení reproduktorů řídíme podle toho, do jaké výšky skříně je zavěsíme, a to tak, aby výškové reproduktory byly přibližně ve výšce hlavy. Pro toto provedení musíme poněkud pozměnit sestavu výškových reproduktorů.



Obr. IV-11.



Obr. IV-12.



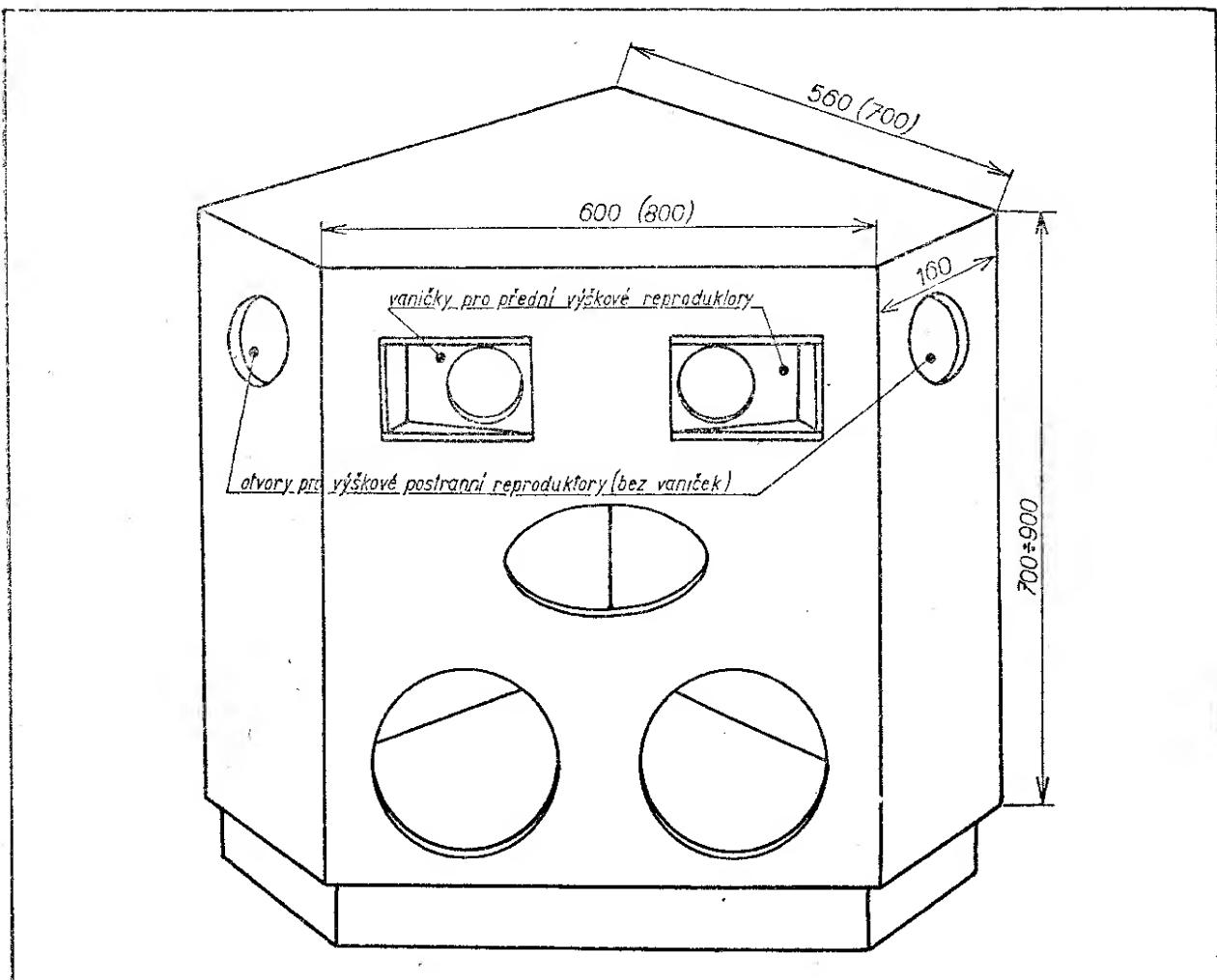
Obr. IV-13.

Střední montujeme přímo a postranní do šikmých vaniček se sklonem 30° .

Ve výběru reproduktorů jsme zatím trochu ochuzeni. Na běžném trhu dosud není celá reproduktorová řada, kterou připravuje nár. podnik Tesla. Pro produkci výšek volíme tedy reproduktory typ Tesla RO 211 nebo RO 231 o celkovém průměru 100 mm a průměru membrány 78 mm. Jejich vlastní resonance je přibližně 200 Hz a impedance 4Ω . Pro střední pásmo lze doporučit některý oválný (eliptický) reproduktor z těchto typů: RF 511, RE 512, RE 531 a RE 532. Mají rozměry membrány 156×215 mm a celkové rozměry 176×235 mm. Vlastní resonance je kolem

72 Hz a impedance 5Ω . Pro reprodukci hloubek je možno použít reproduktory RO 711, RO 712, RO 731 a RO 732 o průměru membrány 243 mm a celkovém průměru 273 mm, mající resonanci kolem 50 Hz a impedanci 5Ω . Brzy bude i reproduktor větší s membránou $\varnothing 302$ mm a resonancí kolem 40 Hz. V tomto posledním případě můžeme dobře vystačit s jedním reproduktorem pro hloubkovou reprodukci.

Při zapojování reproduktorů musíme úzkostlivě dbát na správnou polarisaci: Kdybychom použili všechny reproduktory stejného typu, snad bychom se mohli spolehnout na to, že polarita je stejná. Tomu však není v uvedeném případě.



Obr. IV-14.

Přežkoušení je velmi jednoduché. Kapacitní baterii připojujeme přes odpor několika ohmů ($5 \div 20$) na kmitačku a označíme si polaritu, při které se membrána vychyluje kupředu (poznáme to hmatem). Reproduktory pak zapojíme podle příkladu na obr. IV-16.

Použití

Druhou etapou stavby bude všechno to, co chceme k reprodukčnímu zařízení připojovat. Sestava tohoto příslušenství záleží na individuálních podmínkách, hlavně na uspořádání nábytku v místnosti. Není vyloučeno, že mnozí z vás raději volí sloučení veškerého zařízení do jediného kusu nábytku. Je to jistě velmi účelné řešení, které ušetří mnoho práce a snad i starostí. – Se stanoviska poslechu je správnější umístění reproduktorů s výkonovým zesilovačem do samostatné skříně. Její umístění v míst-

nosti podřídíme výhradně podmínek dobrého poslechu. Takové umístění se zpravidla nekryje s potřebnou přístupností pro obsluhu ostatních článků řetězu (výměna desek, vkládání magnetofonového pásku, ladění přijimače atp.). Tyto úkony chceme provádět pohodlně pokud možno bez přecházení.

Nejtypičtějším je použití malé pojízdné skřínky (obdoba servírovacího stolku). Jiným příkladem je odkládací skřínka třeba kombinovaná se stojací lampou a umístěná u gauče. Konečně i použití zásuvek nebo jiného prostoru příborníku lze pokládat za jedno z vhodných umístění.

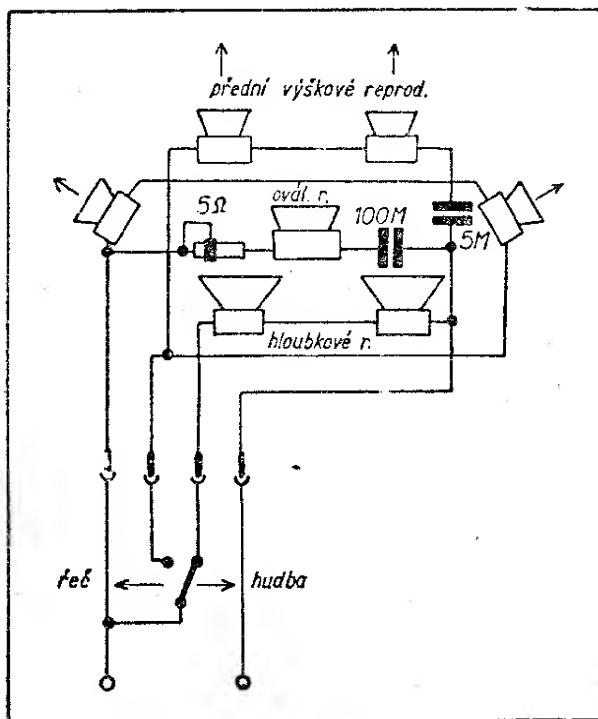
Je samozřejmé, že těmto všem podmínkám přizpůsobíme i umístění popsaného korekčního zesilovače, který nemusí být připojen dlouhým kablikem, ale stejně jako ostatní může být umístěn v pojízdné skřínce společně s voličem a

ostatním zařízením. Ponecháme proto tento problém vaši tvůrčí zručnosti.

Na jeden stupeň voliče připojíme výstup z gramofonu. Je však důležité, aby chom nezapomínali na rozdílnost záznamu různých desek. Kromě voliče programu spojíme předzesilovač i s voličem průběhů. Příklad takového zapojení je na obr. V-1.

Změna kmitočtového průběhu se provádí změnou negativní zpětné vazby na prvním stupni předzesilovače. Zapojení druhého stupně je závislé na celkové úpravě zařízení, hlavně na tom, bude-li korekční jednotka napojena na kabel nebo namontována přímo k ostatním jednotkám. Při zapojení na kabel je nutno použít nízkoohmového katodového výstupu. Při společné montáži může druhý stupeň předzesilovače být současně prvním stupněm korekční jednotky.

Jinými slovy v zapojení předzesilovače je tolik možných kombinací, že není účelné je zde uvádět. Každý ne-použije jistě stejnou přenosku, to zna-

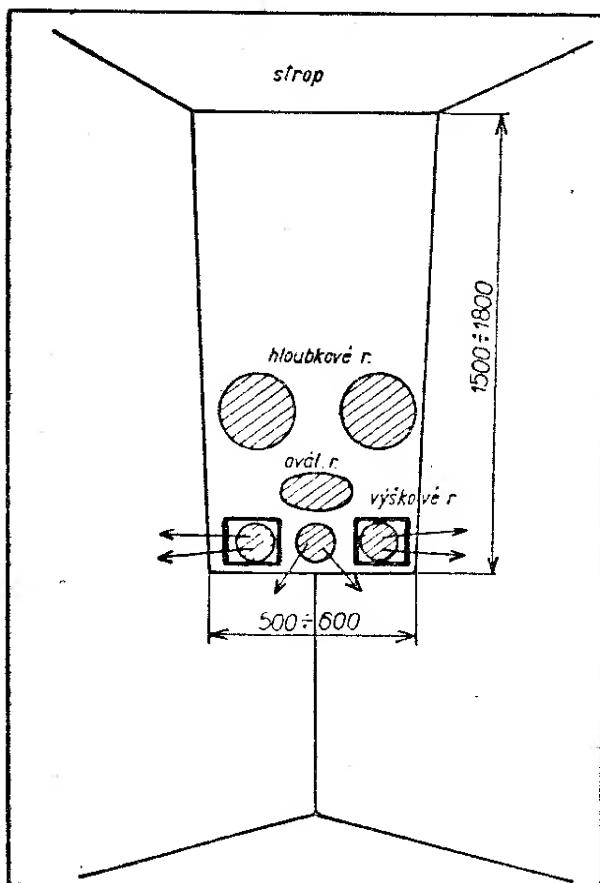


Obr. IV-16.

mená, že i otázka zisku se musí řešit podle výstupního napětí gramofonu. – Podobně si počínáme při napojování jiných zdrojů modulačního napětí. – Při sestavování předzesilovačů musíme počítat s podstatně větším nebezpečím bručení a v důsledku toho budeme důsledně dbát na dobré stínění celé jednotky.

Mezi amatéry jsou oblíbena zařízení, jimiž je možno kombinovat různé programy. Zejména amatéři, vlastníci záznamové přístroje, nezbytně potřebují mísit při nahrávce různé zvuky. Pro takový účel stavíme směšovače nebo směšovací zesilovače.

Nejjednodušší směšování je pomocí několika potenciometrů, jejichž běžce jsou spojené přes ochranný odpor stejné hodnoty jako potenciometry. Tako-véto zapojení je nedokonalé, poněvadž změna polohy jednoho regulátoru ovlivňuje ostatní vstupní obvody. Výhodnějším uspořádáním je použití několika elektronek, nejlépe dvojitých triod (6CC41, ECC83), na jejichž mřížky se připojuje po jednom potenciometru a anody všech pracují do společného anodového odporu. Zapojení může být i stupňovité. Vždy dva systémy dvojité triody pracují do společného anodového



Obr. IV-15.

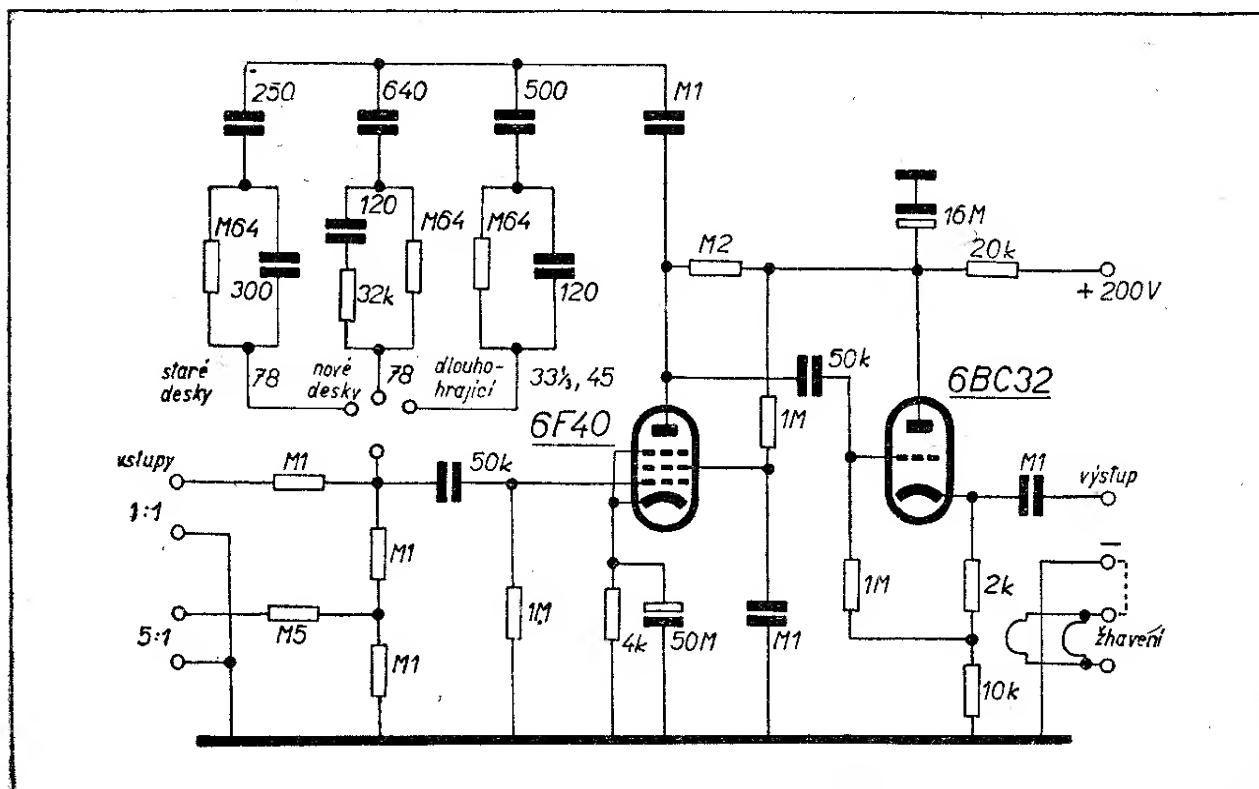
odporu a každá dvojice má za vazebním kondensátorem opět regulátor spojený s mřížkou další dvojitě elektronky atp. Takovým způsobem regulujeme jednak samostatně jednotlivé vstupy, ale můžeme současně ovládat i dvojice. Pro samostatné reprodukční zařízení (byť i v provedení Hi-Fi) je však směšovací zařízení prakticky nepotřebné.

Nebylo by na místě zapomenout na naše amatéry vysílače, pracujícími s foničkami vysílacími stanicemi. Mnozí se jistě potýkali s problémy výkonného modulátoru pro jejich vysílače. I když na amatérské vysílání nejsou takové požadavky jako na vysoko věrnou reprodukci, přece jen lze mnohé výhody zde uvedených zesilovačů použít. Je to především stabilita, která je důležitá pro modulaci. V amatérské praxi se používá zpravidla jediného modulátoru ve spojení s různými vysílači. Při použití jako modulátor vysílače je nutné navinout samostatné sekundární vinutí. Pro podmínky měnících se zátěž je zvláště výhodný popisovaný zesilovač. Požadovaný velký výkon se dosáhne použitím výkonných elektronek s možností paralelního řazení po dvou i více.

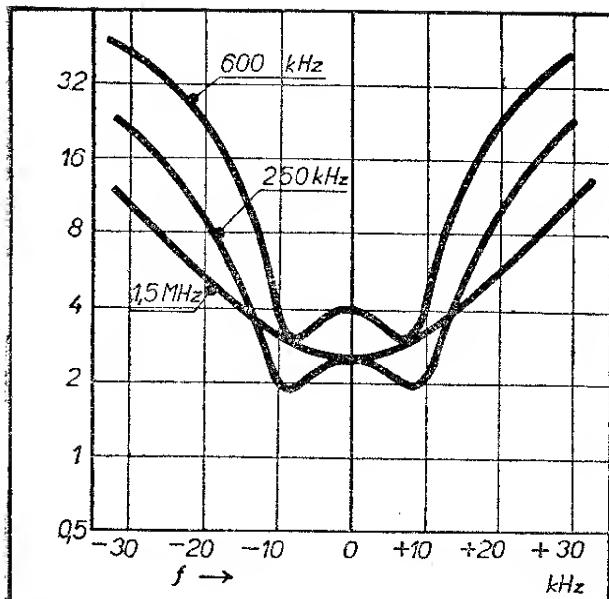
Výstupní zatěžovací impedanci, kterou potřebujeme znát, stanovíme podle údajů o elektronce a je vždy čtvrtinou zatěžovací impedance uváděné pro push-pullové zapojení. – Katodové odpory odpovídají rovněž předepsaným hodnotám v katalogu. Pro zesilovač je možno použít prakticky libovolné koncové elektronky požadovaného výkonu (EL34, RL12P35, RL12P50, LS50, 807, 6L50, EL12 atp.).

AM-přijimač

Získání dobrého a dostatečně širokého zvukového spektra pro využití popisovaných reprodukčních zařízení není dnes tak nesnadné. Jsou dokonalé gramofonové snímky domácí i zahraniční, zejména s mikrozáznamem, je možno zaznamenávat zvuky s výbornou kvalitou na magnetofonový pásek, máme nerušený a širokopásmový přenos rozhlasu po drátě a posléze i FM doprovodný zvuk televise a v budoucnu jistě i FM rozhlas. Tento bohatý výběr si můžeme ještě doplnit dobrým příjemem místní středovlnné nebo dlouhovlnné stanice. V nevýhodě v tomto směru jsou ovšem ti, kteří nemají to štěstí bydlet v místě,



Obr. V-1.



Obr. V-2.

kde zasahuje některý z vysílačů svým t. zv. lokálním silným polem.

Vráťme se trochu do historie a sestavíme si dvouokruhovou přímo laděnou přijímací jednotku, jejíž výstup směle připojíme na některou polohu vstupního voliče naší Hi-Fi soupravy. Jde v podstatě o přijímač s pásmovým filtrem tak řešeným, aby jeho propustné pásmo bylo ± 10 kHz. Z těchto důvodů jsme si zvolili přímoladěný přístroj. Širokopásmový poslech je možno realisovat jen v tom případě, převládá-li pole poslouchaného vysílače v dostatečné míře nad elmag.

polem vysílačů na sousedních, po případě dalších nejbližších kanálech. Pak vystačíme s citlivostí několika milivoltů. Přímoladěný přijímač má tu výhodu, že odpadají starosti se souběhem, typické pro konstrukci superhetu.

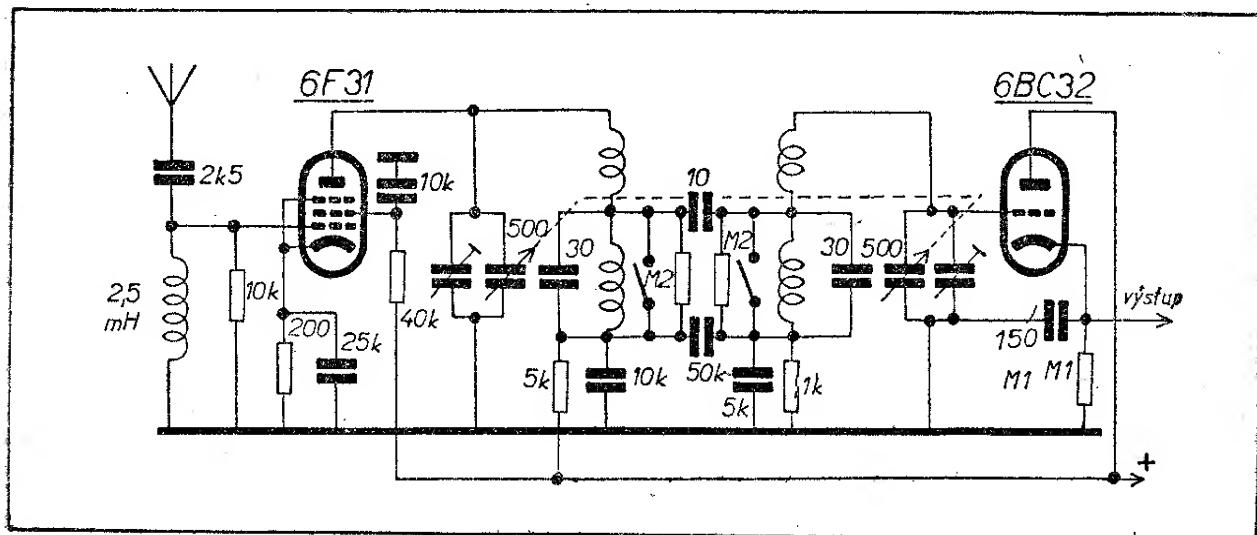
Budeme-li po vzoru dnes již historických přijímačů kombinovat kapacitní a induktivní vazbu pásmového filtru, podaří se nám dosáhnout resonančních průběhů, které nám zajistí žádaný širokopásmový příjem (obr. V-2).

Podmínkou pro dosažení zobrazených hodnot je, aby pásmový filtr nebyl z vnější strany ovlivňován. To vede nutně k oddělení antény od laděných obvodů elektronkou. Celkové schéma je na obrázku V-3 se všemi uvedenými hodnotami. Cívky jsou navinuty na kostříčkách s železovým jádrem o $\varnothing 6$ mm a jejich uspořádání a vinutí je na obr. V-4.

Konstrukční provedení tohoto přijímače není celkem náročné a pro každého radioamatéra snadné. Síťový zdroj budeme jistě montovat do společné jednotky (na schematu není zakreslen). Stejně dobře můžeme napájet tuto jednotku ze zdroje pro jinou jednotku v reprodukční soupravě. Popisovaný přijímač se výborně hodí pro magnetofonové nahrávky z rozhlasového vysílání.

Levný zesilovač (skoro Hi-Fi)

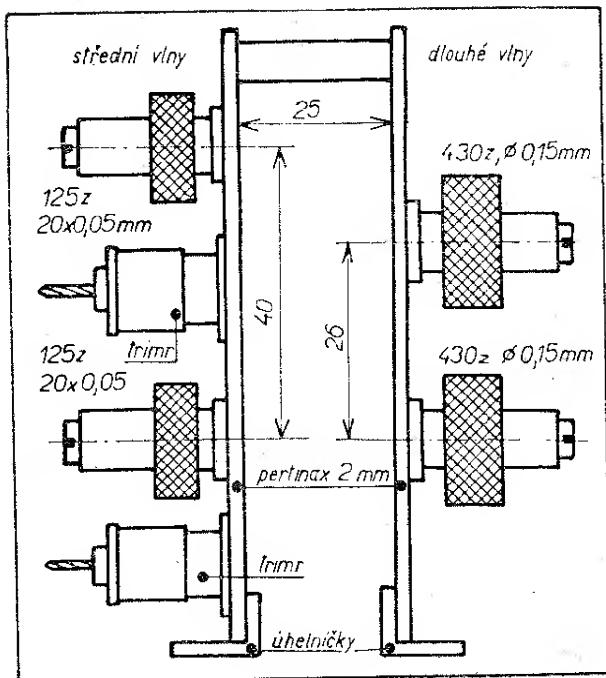
Po přečtení tohoto pojednání dojdeme jistě k názoru, že zařízení pro vysoko



Obr. V-3.

věrnou reprodukci, ať již zvolíme kterýkoliv vzor, bude vždy zařízením značně nákladným. Je tomu opravdu tak. Zejména amatéři-vysílači jsou někdy v situaci, že potřebují sestavit koncový zesilovač celkem nevelkého výkonu, ale s dobrými vlastnostmi a hlavně bez velkých investic. U amatérů tohoto druhu se dá ale předpokládat, že se neleknou obtížnější práce, kterou musí nahradit nákladnost. Obtížnost zesilovače, který uvedeným požadavkům vyhoví, spočívá v tom, že si volíme jednoduché zapojení, jehož kvalita bude dána hlavně provedením výstupního transformátoru.

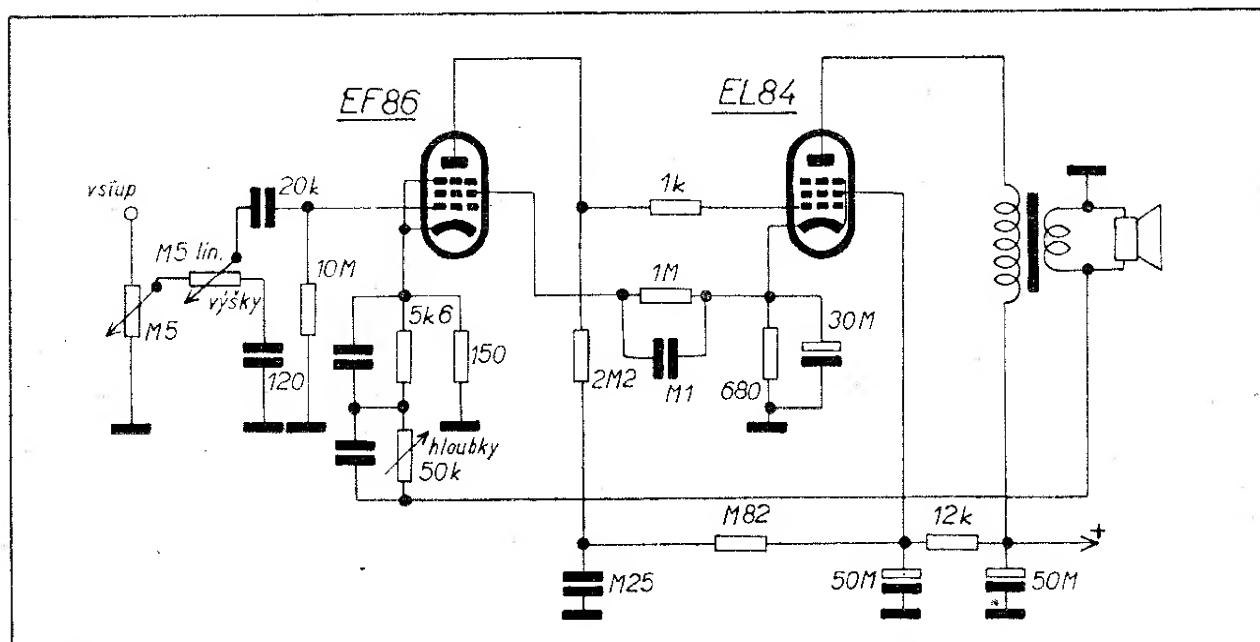
Dvoustupňový zesilovač podle schématu V-5 je takto proveden: Na vstupu jsou zapojeny dva potenciometry. Jeden reguluje hlasitost a druhý je regulátorem výšek. Regulaci hloubek je provedena proměnlivou zpětnou vazbou z výstupu do katody první elektronky. – Anoda první elektronky je přímo vázana na mřížku koncové elektronky. Z tohoto zapojení plynou neobvyklé hodnoty odporů u obou elektronek. Vstupní pentoda je v tak zvaném „proudově chudém“ zapojení a napětí na její anodě je zcela malé. Postačí zvětšit katodový odpor koncové elektronky na hodnotu kolem $700\ \Omega$, aby její mřížka přes to, že má proti kostře kladný potenciál, měla správné mřížkové předpětí oproti ka-



Obr. V-4.

todě. Všechny hodnoty jsou patrný ze schématu.

Výstupní transformátor počítáme pro zatěžovací impedanci použité elektronky. Pro tento výpočet potřebujeme znát data zesilovače a koncové elektronky. Jeho výstupní výkon jsou 3 W (při skreslení kolem jednoho procenta). Kmitočtový průběh 50–10 000 Hz ($\pm 1\text{dB}$), vstupní citlivost 0,5 V. Odpovídá-



Obr. V-5.

jící transformátor má průřez jádra $4,5 \text{ cm}^2$ (M plechy $67 \times 65 \text{ mm}$ a vzduchová mezera $0,5 \text{ mm}$); při permeabilitě 500 má na primárním vinutí 5 450 z. drátu o $\varnothing 0,15 \text{ mm}$ a sekundární vínutí 170 závitů drátu o $\varnothing 0,9 \text{ mm}$ pro reproduktor o impedanci 5Ω .

Výpočet výstupních transformátorů

Pro výpočet výstupních transformátorů potřebujeme znát některé hodnoty výstupních obvodů. První z nich je zatěžovací impedance koncové elektronky, kterou vždy najdeme v tabulkách a budeme ji značit R_a . Dále známe impedanci použitého reproduktoru (nebo celé skupiny), kterou si označíme písmeny R_r . Tyto hodnoty umožní první výpočet, a to transformačního převodu (poměr závitů), který je:

$$p = \sqrt{\frac{R_a}{R_r}}.$$

Pro jádro výstupních transformátorů používáme všeobecně t. zv. křemíkových transformátorových plechů (zelezo legované křemíkem) o síle $0,25\text{--}0,35 \text{ mm}$. Průřez jádra (celkový průřez plechů, procházejících cívkou) značíme písmenem Q a je závislý na přenášeném výkonu (N_{\sim}) a nejnižším kmitočtu přenášeného spektra (f_o). Jeho hodnotu vypočteme ze vzorečku

$$Q = 10 \sqrt{\frac{2 N_{\sim}}{f_o}} \dots [\text{cm}^2].$$

Pro linearitu nejnižších kmitočtů požadujeme, aby impedance naprázdno (Z_o impedance měřená na primáru při nezatíženém sekundáru) byla určitým násobkem zatěžovací impedance elektronky. Pro dobrý transformátor počítáme s číslem 3 ($Z_o = 3 R_a$), při kterém ztráta na napětí pro uvažovaný nejnižší kmitočet nedosahuje 10 %. Indukčnost naprázdno (L_o) primárního vinutí, odvozená od impedance naprázdno, je dána vzorcem:

$$L_o = \frac{Z_o}{2 \pi f} = \frac{4 \pi n_1^2 \mu Q}{6} 10^{-9} \dots [\text{H}].$$

Z tohoto vzorce si vypočteme počet závitů na primáru:

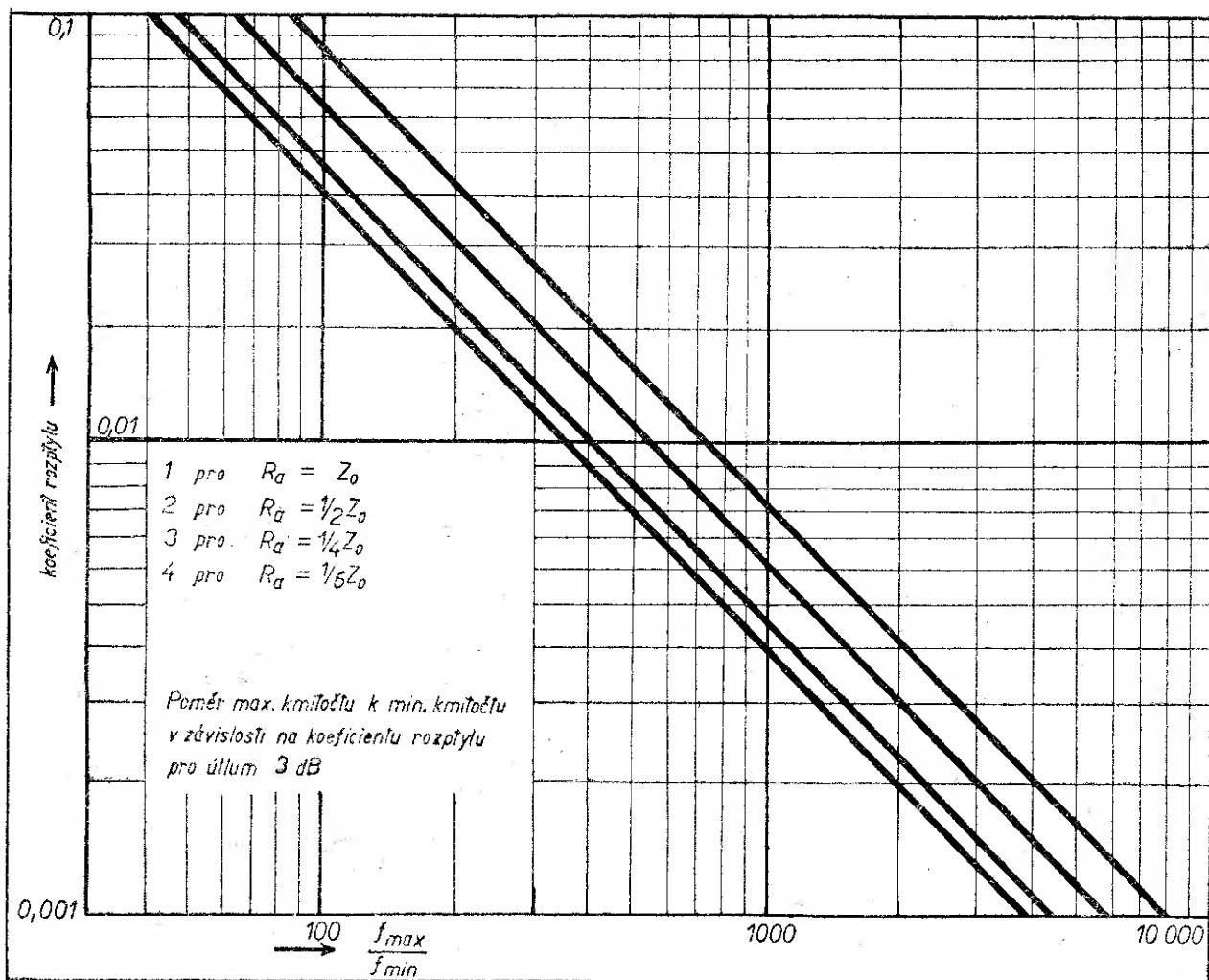
$$n_1 = \sqrt{\frac{l \cdot L_o \cdot 10^9}{4 \pi \mu Q}}$$

kde μ je permeabilita pro nejmenší očekávanou sílu magnetického pole a u křemíkových plechů je udávaná zpravidla číslem 500, l je střední délka magnetické siločáry. Pro primár využijeme polovinu prostoru v okénku plechů, z čehož nám vyplýne síla drátu. Je rovněž nutno překontrolovat si sílu drátu vzhledem k procházejícímu proudu (na př. anodovému). Dopadne-li tato kontrola dobře, přesvědčíme se ještě, nebude-li ohmický odpor primáru přesahovat 10 % R_a . Přesahuje-li jej, je nutno volit jádro s větším okénkem (větší plechy). Poněvadž u všech zesilovačů pro vysokou věrnou reprodukci neprochází vinutím stejnosměrný anodový proud nebo se kompenzuje (v souměrném zapojení), nepoužíváme jádra se vzduchovou mezrou. Pro výstupní transformátory nesouměrné je nutno použít jádra s demagnetizační mezrou. V takovém případě je nutno počítat závity podle této mezery ze vzorce:

$$n_1 = \sqrt{\frac{d \cdot L_o \cdot 10^9}{4 \pi Q}}$$

kde d je šířka vzduchové mezery v cm. Vzorec je prakticky stejný jako v předešlém případě, ale za μ je dosazena 1. Magnetický odpor železného jádra můžeme při tomto výpočtu zanedbat.

Pro dosažení linearity při vysokých kmitočtech musíme co nejvíce potlačit rozptylovou indukčnost. Prostředkem k tomu je co nejtěsnější vazba mezi primárem a sekundárem, kterou získáme rozdelením obou vinutí na části, které pak navzájem prokládáme. O zdaru tohoto úsilí se přesvědčíme změřením indukčnosti primáru při sekundáru spojeném dokrátko. Poměr rozptylové indukčnosti k indukčnosti primáru je určitou mírou pro šířku přenášeného pásma. Na diagramu V-6 je závislost šířky pásma $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ na koeficientu rozptylu, a to pro transformátory s různým poměrem impedance naprázdno (pro nejnižší kmitočet) k danému zatěžovacímu odporu



Obr. V-6.

elektronky (Z_0/R_a) (pro hodnoty 1, 2, 4 a 6).

Známe-li počet primárních závitů (Z_p), vypočteme si počet sekundárních závitů z uvedeného vzorce pro převod, ze kterého je patrné, že impedance jsou v poměru druhých mocnin počtu závitů

$$\frac{R_a}{R_r} = \frac{n_1^2}{n_2^2} .$$

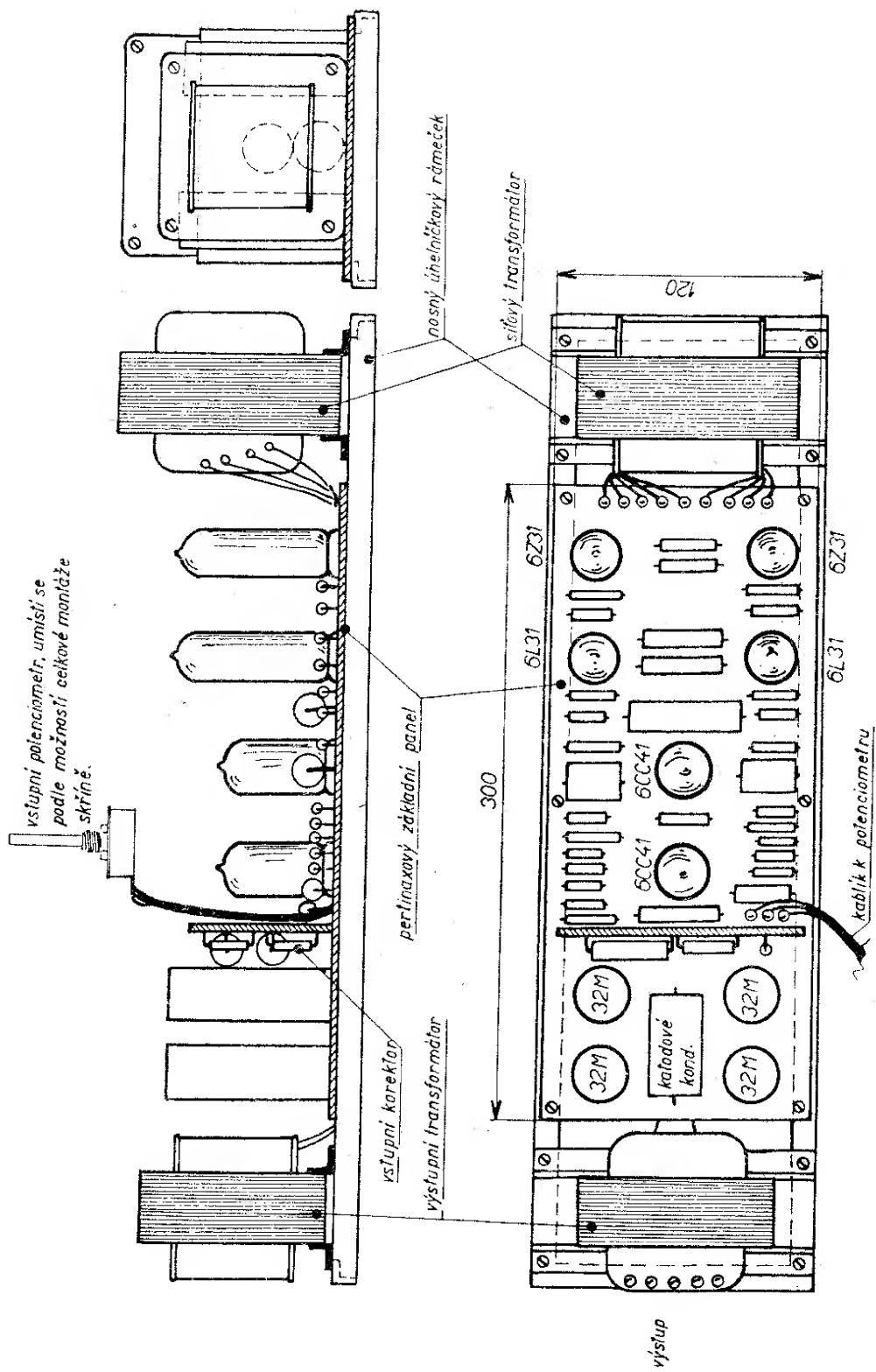
Pro sekundární vinutí využijeme plně druhou polovinu plochy okénka a podle toho opět stanovíme co největší sílu drátu.

Při sestavování transformátoru zbavíme pečlivě všechny plechy jehly (hrotů), zkонтrolujeme (po případě obnovíme) jejich isolaci. Složené jádro dobře stáhneme odisolovanými svorníky a příložkami a uvnitř cívky zaklínujeme.

Poznámka k měření

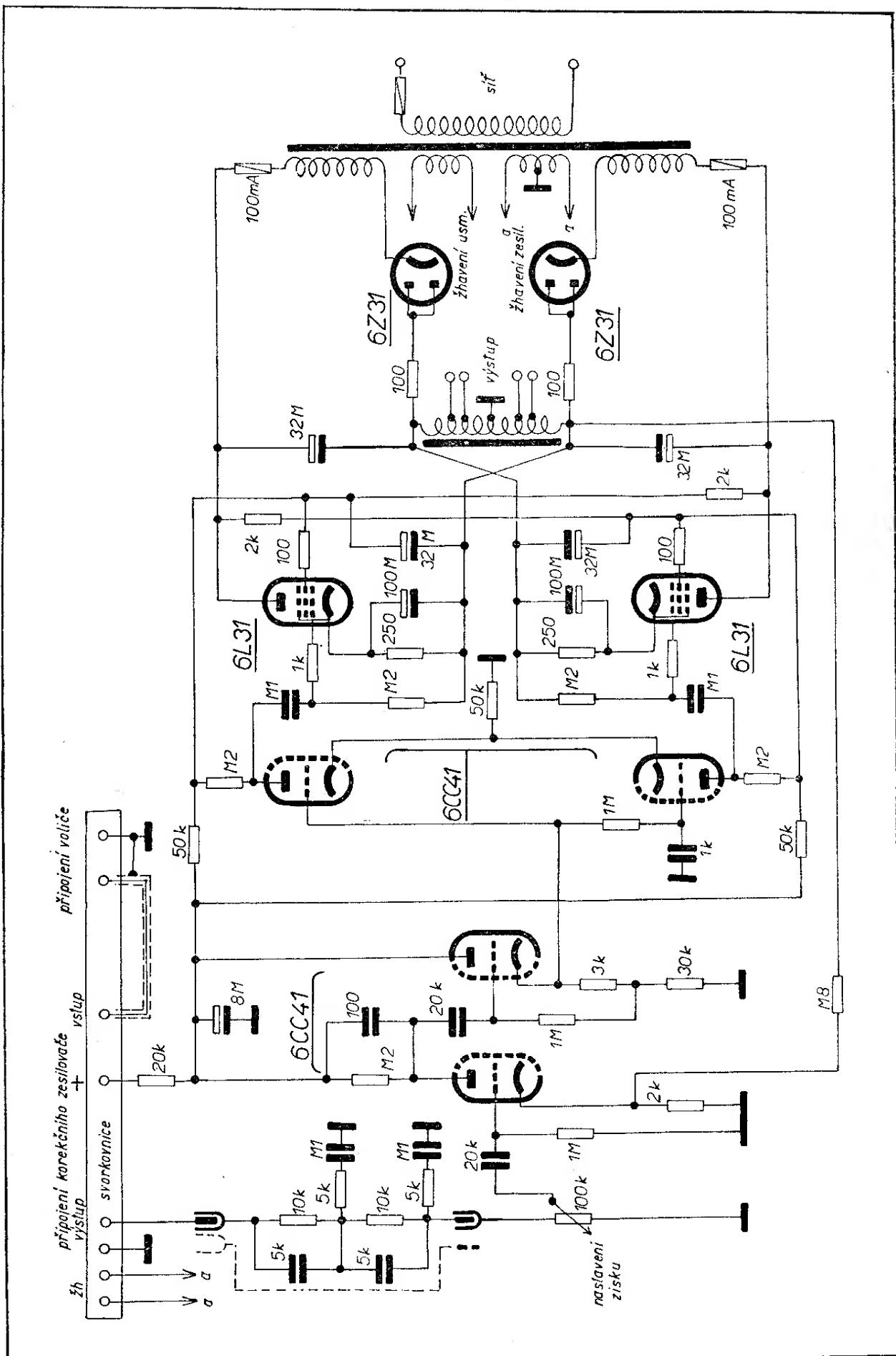
V průběhu tohoto pojednání jsme se zaměřili na praktické příklady a pokyny za předpokladu znalostí základních poúček a vztahů zesilovačů nízkého kmitočtu. Řešit technicky zesilovače pro vysokou věrnost reprodukce znamená nejenom ovládat dobře jejich techniku, ale být i vyzbrojen řadou měřidel. Mluvili jsme o ukazatelích kvality a proto si v závěru řekneme alespoň stručně, jakým způsobem se tyto hodnoty zjištují, přestože jen mizivé procento amatérů má možnost všechna taková měření provádět.

Kmitočtový průběh zesilovače patří mezi ty nejjednodušší metody. Vyžaduje tónový generátor a jeden nebo dva elektronkové voltmetry. Na vstupu zesilovače měříme napětí jedním voltmetrem a na výstupu druhým voltmetrem. Při



Obr. IV-6.

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR Svazarmu, návody a plánky Amatérského radia. Vydává Svaz pro spolupráci s armádou ve Vydatelství časopisů ministerstva národní obrany, Praha II, Vladislavova 26. Redakce Praha I, Národní tř. 25 (Metro). Telefon 23-30-27. Řídí František SMOLÍK s redakčním kruhem (Josef ČERNÝ, Vladimír DANČÍK, Antonín HÁLEK, Ing. Miroslav HAVLÍČEK, Karel KRBECK, nositel odznaku „Za obětavou práci“, Arnošt LAVANTE, Ing. Jar. NAVRÁTIL, Václav NEDVĚD, Ing. Ota PETRÁČEK, Josef POHANKA, laureát státní ceny, Antonín RAMBOUSEK, Josef SEDLÁČEK, mistr radioamatérského sportu a nositel odznaku „Za obětavou práci“, Josef STEHLÍK, mistr radioamatérského sportu a nositel odznaku „Za obětavou práci“, Aleš SOUKUP, Vlastislav SVOBODA, laureát státní ceny, Jan ŠÍMA, mistr radioamatérského sportu, Zdeněk ŠKODA, Ladislav ZÝKA). Vychází měsíčně, ročně vyjde 10 čísel. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., Praha. Příspěvky redakce vraci, jen byly-li vyžádány a byla-li přiložena frankovaná obálka se zpětnou adresou. Za původnost a veškerá práva ručí autoři příspěvků. Toto číslo vyšlo 10. prosince 1957. - PNS 52 - A-05487



Obr. IV-2.

měření musíme mít výstup zatížen impedancí, pro kterou je konstruován. Měření provádíme jednak při plném vybuzení (při plném výkonu) a také při malém vybuzení (10%), poněvadž požadujeme, aby se kmitočtový průběh při různém vybuzení neměnil. Při této přiležitosti potřebujeme nastavit maximální vybuzení a při tom se především přesvědčit, odpovídá-li udávané hodnotě. K tomu potřebujeme zařízení, kterým se můžeme bezpečně přesvědčit o harmonickém skreslení v závislosti na výstupním výkonu. Pro zařízení Hi-Fi to bude svízelné, poněvadž skreslení udávaná pro tyto druhy zesilovačů nelze již pozorovat na osciloskopu. Dobrých výsledků měření lze dosáhnout bud měřičem skreslení, nebo vlnovým analysátorem.

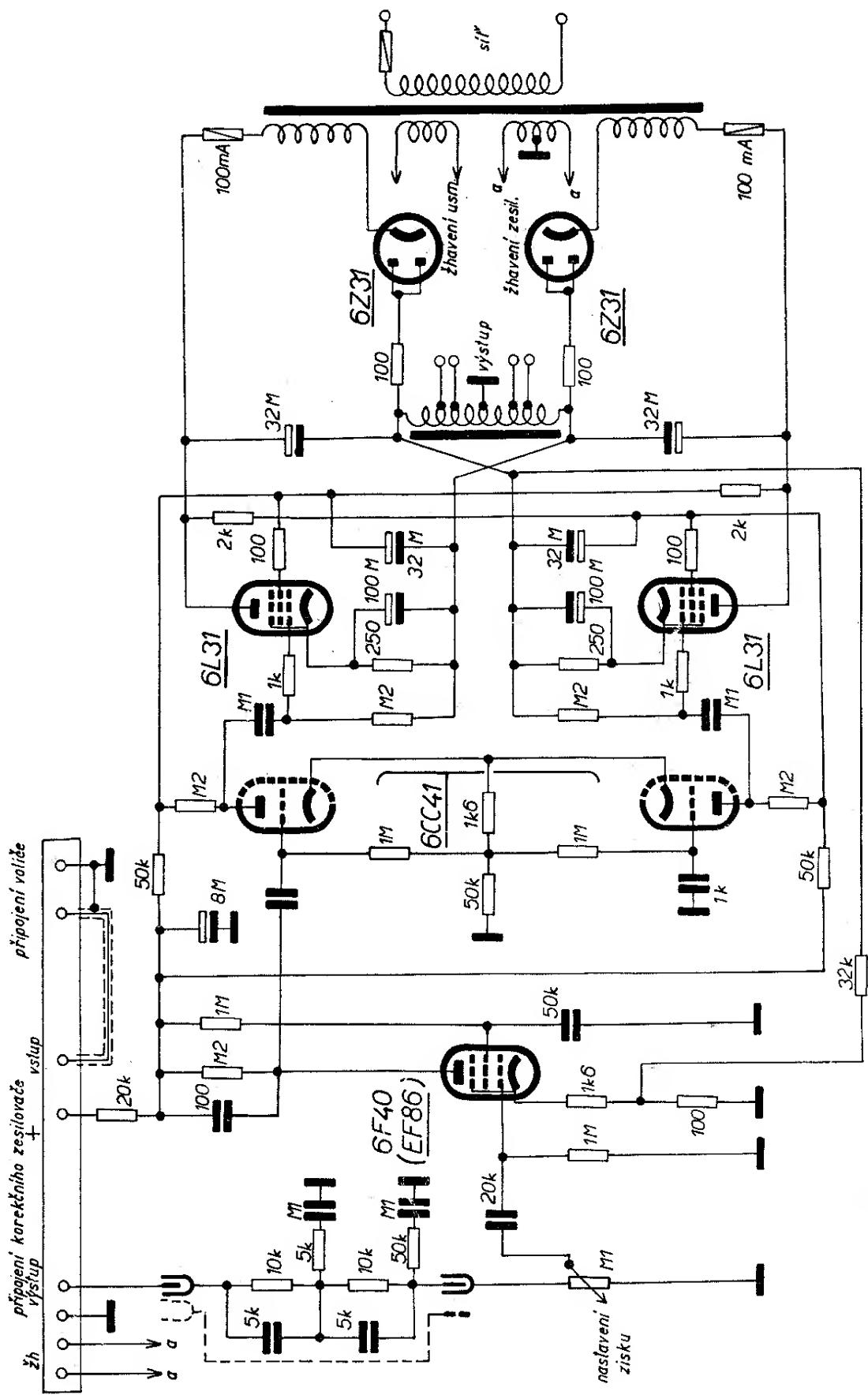
Měření intermodulačních skreslení je také složitější. Pro toto měření potřebujeme dva generátory, abychom mohli zesilovač vybudit současně dvěma kmitočty. Na výstupu zkoumáme přítomnost interferenčních kmitočtů. Měření fázového skreslení vyžaduje další druh přístroje – dvoupaprskový osciloskop. Obrázek kvality zesilovače jak po stránce fázového skreslení, tak po stránce stability (nakmitávání), konečně i jeho lineární i nelineární skreslení spolehlivě ukazuje oscilografický obraz obdélníkových kmitů, zesílených měřeným zesilovačem. Fotografické snímky, pořízené pro několik charakteristických kmitočtů obdélníkového tvaru, jsou výborným dokladem o kvalitě zesilovače.

K tomu ke všemu patří měření dynamiky, její závislosti na výkonu, měření zisku a jeho stability a řada dalších hodnot. Nejsvízelnější je měření akustických ukazovatelů reprodukční soustavy. Mají-li být tato měření spolehlivá, vyžadují nákladného zařízení a důkladně prověřené metody. – Amatérům nezbude nic jiného, než se spolehnout na vlastní uši a věřit uváděným hodnotám.

Zesilovací zařízení pro vysoce kvalitní reprodukci najde zájemce nejen mezi milovníky hudby a dobrého přenosu, ale jistě i u amatérů se zálibou v elektrofonických hudebních nástrojích, kde je otázka dobrého zvuku základním předpokladem.

Literatura:

- Auerbach: Die Eisenlose Endstufe, Funkschau (dále FS) 13/55, FS 22/55.
- Aschermann: Transformatorlose Gegentaktschaltung, Funktechnik (dále F. T.) 9/56.
- Brode A. M.: Elementy radiotechniky, Gosenergoizdat, 1950.
- Carniol: Zpětná vazba, SNTL, Praha 1953.
- Cneudt: Der Parallel Push-Pull Verstärker, Radio Magazin 4/55.
- Daudt: Eine bewährte Endverstärkerschaltung, F. T. 15/54.
- Diefenbach W. W.: Niederfrequenzteil und Raumklangtechnik, F. T. 22/54.
- 15-Watt Schallsäule, F. T. 13/54.
- Donát K.: Výkon a skreslení nf zesilovačů, Sdělovací technika (dále S. T.) 6/53.
- Drozdov, Liepius: Vysokofrekvenčný usilitel, Radio 6/50.
- Fiala: Technika gramofonového záznamu, S. T. 2/53.
- Fischer: Tonsäule als Ecklautsprecher, F. T. 20/54.
- Gvozdjak: Nízkofrekvenčný zosilňovač s vernou reprodukciou, S. T. 9/54.
- Hendig W.: Mischpultvorverstärker, Radio und Fernsehen (dále R. u. F.) 18/56.
- Horna: Kombinovaná zpětná vazba, Elektronik (dále E.) 11/1950.
- Horna: Jakostní zesilovače pro domácí poslech, S. T. 1/56-16.
- Horna: Nejdokonalejší invertor, E. 10/50-228.
- Horna: Vnitřní odpor zesilovače a jeho vliv na vlastnosti elektrodynamického reproduktoru, E. 11/51.
- Krňák M.: Elektrické výhybky, Am. radio 1/53.
- Krumm: Die Eisenlose Endstufe in einer neuen Betrachtungsweise, F. T. 21/56.
- Köykkä: Der Gegenparallel Verstärker, F. S. 14/56.
- Kühne F.: 20 Watt Hi Fi Verstärker PPP 20, FS 2/57.
- Kühne F.: Billiger Hi Fi Verstärker mit Eintakt Endstufe, Österreichische Funkschau (dále ÖFS) 8/56.
- Kühne F.: Gehäuse für Hi Fi Lautsprecher, ÖFS 1/57.
- Latzel: Ein absolut symmetrischer Hi Fi gegentakt Verstärker, FS 3/57.
- Limann O. a Kühne F.: UKW – Qualität beim AM Empfang, ÖFS 9/56.
- Reichardt: Grundlagen der Elektroakustik, Leipzig 1952.
- Smetana C.: Korektory s plynulou změnou kmitočtové charakteristiky, S. T. 10/45.
- Strnad: Elektroakustika I/1, Praha 1951.
- Sultane H.: Netzwerke für getrennte Höhen- und Tiefenregelung, R. u. F. 9/56.
- Steube H.: Endverstärker mit Schirmgittergegenkopplung, R. u. F. 11/56.
- Šipovskij: Vysokokačestvennyje usiliteli nizkoj čas-toty, Moskva 1952.
- Traeger W.: Das Raumklangproblem, R. u. F. 2/55.
- Traeger W.: Endstufen für Empfänger und Verstärker mit Raumklanglautsprecheinordnung, R. u. F. 19/56.
- Traeger W.: Klangregelung, R. u. F. 9/56.
- Vagt H.: Musik und Fernsehzimmer von Morgen, FS 8/57.
- Williamson D. T. N.: High Quality Amplifier – New Version, Wireless World 8/49-282, 10/49.



Obr. IV-3.